

**А. Френкель, А. Шадрин**

## **КОЛОРИМЕТРИЧЕСКАЯ НАСТРОЙКА МОНИТОРОВ. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА**

### **Введение**

Данная статья адресована тем, кто хочет освоить методику колориметрической настройки мониторов, методику их правильного использования, технологию организации экранной цветопробы, а также приобрести навык оперативного решения возникающих проблем.

Добиться серьезного результата можно только через понимание сути колориметрии, то есть через предварительное освоение теории вопроса. Особо подчеркнем, что если общая колориметрическая настройка монитора возможна и за счет пошагового выполнения инструкций практической части данной статьи, то организация экранной цветопробы (которая для большинства компаний является конечной целью наладочных мероприятий) и эффективное решение возникающих проблем невозможны без понимания основ колориметрии, изложенных в теоретической части данной работы, а также в общетеоретической статье «Color Management System (CMS) в логике цветовых координатных систем» ([www.rudtp.ru](http://www.rudtp.ru)).

#### **Примечание:**

Как показало время, упомянутая статья требует определенной доработки и уточнения ряда понятий: за период, прошедший с момента ее выхода, авторы получили ряд очень важных исторических сведений. Тем не менее, базовые положения упомянутой статьи остаются верными и важными для понимания сути процессов управления цветовоспроизведением.

### **Терминология**

Перед началом изложения материала необходимо определить базовые термины.

Несмотря на то, что слово «монитор» вынесено в название статьи, в дальнейшем наравне с ним мы будем пользоваться термином «видеосистема», имея в виду под монитором или видеосистемой многокомпонентную аппаратно-программную цифровую систему, состоящую из: *видеокарты компьютера* и ее программного обеспечения, *информационного кабеля*<sup>1</sup> и *собственно дисплея*. В целом, в нашем понимании, «видеосистема» («монитор») — это подсистема общего ДТР-комплекса, берущая начало в том его участке, на вход которого операционная система подает цифровой сигнал визуализации (драйвер видеокарты), и заканчивающаяся поверхностью дисплея.

Таким образом «монитор» и «видеосистема» — синонимы.

---

<sup>1</sup> Значение которого склонны недооценивать.

«Дисплей» в нашей лексике — это электронно-лучевая трубка (или TFT-панель) с блоком управляющей электроники и усилителем видеосигнала, то есть лишь компонент видеосистемы.

Техническое устройство и технологический принцип работы видеосистемы в целом (и дисплеев в частности) широко известны, подробно и хорошо изложены в большом количестве авторитетных источников, и потому их разбор не входит в нашу задачу.

Целью и смыслом настоящей статьи является описание функций видеосистемы с **колориметрических** позиций, то есть описание работы видеосистемы как цветовоспроизводящего устройства, а также подробный рассказ о принципах и методике ее колориметрической настройки, снабженный развернутым теоретическим обоснованием.

## Монитор как трехстимульный визуальный колориметр

Промышленные технологии и мировое разделение труда в начале XX века достигли такого уровня развития, что возникла острая необходимость в точном числовом описании цветовых ощущений людей, стандартизации и инструментальном воспроизведении цветовых ощущений по числовым данным. Можно привести большое количество примеров, когда без точных данных о цвете, которые должны быть переданы с одного предприятия на другое, из города в город, и даже с континента на континент, невозможно создать тот или иной высококачественный промышленный продукт.

Однако цвет — это наше ощущение и не более того. Как его измерить? Казалось бы, задача точного измерения такой эфемерной вещи, как ощущение, невыполнима.

К тому моменту, когда цветовые измерения стали особо необходимы промышленности, уже существовала трехкомпонентная теория Юнга-Гельмгольца<sup>2</sup> и было известно, что, согласно первому закону Грассмана<sup>3</sup>, любой «цвет» может быть получен смешением трех «независимых цветов»<sup>4</sup>.

---

<sup>2</sup> ЮНГ (Янг) (Young) Томас (1773-1829), английский ученый, один из основоположников волновой теории света. Сформулировал принцип интерференции (1801), высказал идею о поперечности световых волн (1817). Объяснил аккомодацию глаза, разработал теорию цветного зрения. Ввел характеристику упругости (модуль Юнга). Автор трудов по акустике, астрономии, расшифровке египетских иероглифов.

ГЕЛЬМГОЛЬЦ (Helmholtz) Герман Людвиг Фердинанд (1821-1894), немецкий ученый, иностранный член-корреспондент Петербургской АН (1868). Автор фундаментальных трудов по физике, биофизике, физиологии, психологии. Впервые (1847) математически обосновал закон сохранения энергии, показав его всеобщий характер. Разработал термодинамическую теорию химических процессов, ввел понятия свободной и связанной энергий. Заложил основы теорий вихревого движения жидкости и аномальной дисперсии. Автор основополагающих трудов по физиологии слуха и зрения. Обнаружил и измерил теплообразование в мышцах, изучил процесс сокращения мышц, измерил скорость распространения нервного импульса.

<sup>3</sup> ГРАССМАН (Grassmann) Герман (1809-77), немецкий математик, физик и филолог. Дал первое систематическое построение учения о многомерном евклидовом пространстве. Труды по акустике, цветоведению (законы Грассмана) и электромагнетизму. В 1875 составил словарь к гимнам Ригведы (памятнику древнеиндийской литературы).

<sup>4</sup> Отметим, что трехкомпонентная теория цветового зрения была разработана Юнгом на основе идей Михаила Васильевича Ломоносова, озвученных им в докладе «Слово о происхождении света, новую теорию о цветах представляющее, в публичном собрании Императорской Академии Наук июля 1 дня 1756 года говоренное Михаилом Ломоносовым»: «Я приметил и через многие годы многими прежде догадками, а после доказательными опытами с довольною вероятностью утвердился, что природа эфирных частиц имеет совмещение с тремя родами действующих первоначальных частиц, чувствительные тела составляющих... От первого рода эфира происходит цвет красный, от второго — желтый, от третьего — голубой. Прочие цвета рождаются от смешения первых... Натура тем паче всего удивительна, что в простоте своей многохитростна, и от малого числа причин произносит неисчислимые образы свойств, перемен и явлений».

Здесь следует уточнить: в лексике Грассмана «цвет» — это электромагнитное излучение, вызывающее некое цветовое ощущение, а не само ощущение. Смешивают, конечно, не ощущения (что невозможно), а *физические стимулы*, вызывающие эти ощущения. В результате данного смешения получают новый стимул, который вызывает новое ощущение. Для цветовых ощущений стимулом является электромагнитное излучение в диапазоне 380 — 730 нм.

**Примечание:**

Цветовым стимулом может быть не только электромагнитное излучение, но и физическое, химическое, физиологическое или психическое воздействие, вызывающее в сознании человека цветовое ощущение. Цветовым стимулом может также оказаться комбинация перечисленных факторов. В контексте нашей статьи цветовой стимул — это поток электромагнитного излучения видимой части спектра.

Под «смешением» стимулов мы понимаем ситуацию, когда стимулы перестают восприниматься зрением как самостоятельные, отдельные стимулы и начинают восприниматься как единый стимул. Такое происходит, когда разные стимулы одновременно воздействуют на одну и ту же область сетчатки или когда последовательность воздействия переходит т.н. порог мерцания, когда это мерцание становится незаметным для зрения.

На первый взгляд, цветовой стимул можно охарактеризовать спектральным распределением энергии (СРЭ) данного излучения. Однако одно и то же цветовое ощущение могут вызывать стимулы с различным СРЭ, что известно как явление метамерии. Таким образом, характеристикой цветового стимула является не СРЭ излучения, а лишь то цветовое ощущение, которое он вызывает (при данной цветовой адаптации). Если различные по спектральному составу стимулы вызывают одно и то же цветовое ощущение (при единой цветовой адаптации), то эти стимулы будут равны.

Итак, первый закон Грассмана (закон трехмерности) утверждает: **любое цветовое ощущение может быть получено за счет смешения в определенной пропорции трех независимых стимулов.** Независимость стимулов, по Грассману, состоит в том, что цветовое ощущение, вызываемое одним из тройки стимулов, не может быть получено путем смешения двух других стимулов в каких-либо пропорциях. Такие исходные стимулы называют *кардинальными стимулами*.

Вообще говоря, **условием кардинальности стимулов является возможность получения результирующего стимула, вызывающего ощущение белого цвета. Обязательным при создании результирующего «белого» стимула является присутствие в смеси всех трех исходных стимулов.**

К примеру, выберем в качестве исходных стимулы, которые самостоятельно вызывают ощущение голубого, красного и желтого. По Грассману, эти три стимула независимы, так как цветовое ощущение, вызываемое каждым стимулом по отдельности, не может быть получено путем смешения двух других стимулов в каких-либо пропорциях. Однако, смешивая все три данных стимула, невозможно получить результирующий стимул, вызывающий ощущение белого цвета. Следовательно, эти стимулы не являются кардинальными. Результатом их «некардинальности» является невозможность получения с их помощью результирующих стимулов, лежащих в области пурпурных, фиолетовых и синих цветов.

Свойство кардинальности проявляется только в тройке, причем не может быть ситуации, при которой один стимул из тройки является кардинальным, а два других — нет. Если стимулы отвечают вышеупомянутому требованию, то кардинальны все три, если не отвечают — ни один из стимулов не является кардинальным.

Именно первый закон Грассмана положен в основу измерения цвета, то есть цветовых ощущений человека: для измерения цветового ощущения, вызванного неким стимулом,

можно сложить три кардинальных стимула и найти такое соотношение интенсивностей этих трех стимулов, которое вызовет такое же цветовое ощущение. Тройка *чисел*, выражающая энергетическое *соотношение* между кардинальными стимулами, и будут однозначным численным выражением измеряемого цветового ощущения (или, если угодно, «цвета»). То есть координатами цветового ощущения могут быть: отношения площадей секторов вертушки Максвелла, соотношения потенциалов, приложенных к лампам прожекторов с фильтрами, отношения углов поворота поляризованных световых потоков к поляризационному фильтру и т.п.

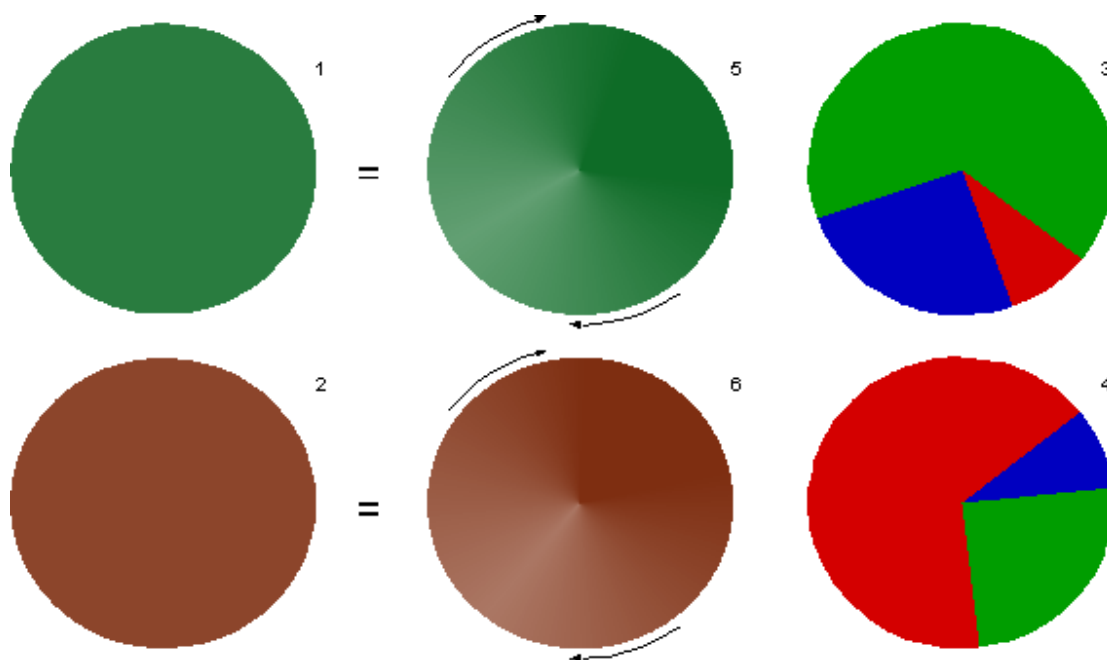


Рис. 1. Измерение цветовых ощущений с помощью вертушки Максвелла: цветовые ощущения, вызываемые окрашенными кругами (1, 2) уравниваются за счет подбора соотношений площадей окрашенных секторов круга вертушки. Секторы окрашены так, что отраженный от них свет представляет собой тройку кардинальных стимулов (в нашем примере — самостоятельно вызывающих ощущение некоего «красного», некоего «зеленого» и некоего «синего»).

Итак, мы имеем способ измерения, но необходимы еще *единицы измерения*.

При измерении цветовых ощущений должна строго соблюдаться единая цветовая адаптация, т.к. при изменении адаптации будут меняться результаты измерений. Цветовая адаптация задается т.н. «точкой белого», т.е. тем, что наблюдатель принимает за белое: чаще всего это источник освещения. Именно от «опорного белого света» зрительная система человека ведет все дальнейшие построения цветовых ощущений, и именно опорный белый свет задает единицы измерения цветовых ощущений, так как является точкой отсчета.

**Примечание:**

Термин «опорный белый свет» предложен проф. П.М. Тиходеевым<sup>5</sup> и представляется нам очень удачным. В лексике СИЕ опорный белый свет именуется либо «четвертым кардинальным стимулом», либо «белым базисным стимулом» (Прист).

<sup>5</sup> ТИХОДЕЕВ Павел Михайлович (1893-1978). Ученый в области светотехники, основатель российской метрологии в области световых измерений, профессор (1930). Разработал теоретические основы уличного освещения. Руководил созданием государственного светового эталона. Государственная премия СССР (1948).

За единицы измерения были приняты такие количества кардинальных стимулов, которые при смешении вызывают то же ощущение, что и выбранный опорный белый свет. От этих количеств отсчитываются удельные количества (доли) стимулов при измерениях.

**Примечание:**

Кардинальные стимулы принято именовать курсивными прописными буквами латинского алфавита, к примеру:  $A B C$ , или  $U V W$  и т.п. Удельное количество (долю) каждого кардинального стимула принято обозначать строчными буквами либо латинского, либо греческого алфавита в курсивном начертании с нижним индексом прямого начертания:

$k_1A k_2B k_3C$ , или  $\alpha_1U \alpha_1V \alpha_1W$  и т.п.

Важно заметить, что «изменение удельного количества стимула» (изменение интенсивности стимула) означает, что СРЭ стимула меняется пропорционально по всему видимому спектру, т.е. энергия излучения по каждой из длин волн меняется с одним и тем же коэффициентом. Как правило, пропорциональность достигается механическим ограничением светового потока (стимула) от некоторого максимального значения.

**Примечание:**

Так, в вертушке Максвелла интенсивность стимулов определяется площадью окрашенных секторов, в колориметрах Английской национальной физической лаборатории и Государственного оптического института (СССР) — углом раскрытия механического обтюлятора светового потока, вращающегося с постоянной скоростью, превышающей порог мерцания (схож с обтюратором кинопроектора), в колориметре Британского императорского колледжа наук и технологии — просветом специальной апертуры и т.п.

Измерения цветовых ощущений можно сравнить со взвешиванием при помощи рычажных весов: на одну «чашку весов» кладется измеряемое цветовое ощущение, а на другую «чашку» кладутся «разновесы» — определенные удельные количества кардинальных стимулов. Эти «разновесы» выверены по эталону — опорному белому свету. Индикатором уравнивания служит человек-наблюдатель, т.к. только человек может знать, равны ощущения или нет. Важно, что при этом нет никакой необходимости в трудном словесном выражении ощущений, что всегда неточно.

Надо заметить, что в реальности, вопреки первому закону Грассмана, далеко не все цветовые ощущения могут быть получены смешением трех кардинальных стимулов. Большую часть ощущений от «спектрально-чистых» (график их спектрального распределения представляет собой узкую полоску) стимулов и вообще ощущения «высоконасыщенных цветов» невозможно уравнивать с помощью кардинальных стимулов. Количество таких «неуравниваемых» ощущений зависит от спектральной чистоты самих кардинальных стимулов (чем чище спектр кардинальных стимулов, то есть, чем уже их спектральный пик — тем большее количество цветов можно уравнивать) и их взаиморасположения в спектре.

Замечено, что наибольшее количество цветовых ощущений можно уравнивать, если использовать кардинальные стимулы, по отдельности вызывающие ощущения высоконасыщенного красного, высоконасыщенного зеленого и высоконасыщенного синего цветов. Однако можно использовать и другие кардинальные стимулы, по отдельности вызывающие иные цветовые ощущения. Желательно (но необязательно), чтобы кардинальные стимулы были узкополосными.

На рис. 2 (а) показаны три тройки неузкополосных кардинальных стимулов, вызывающих одно и то же цветовое ощущение (в нашем примере — белое).

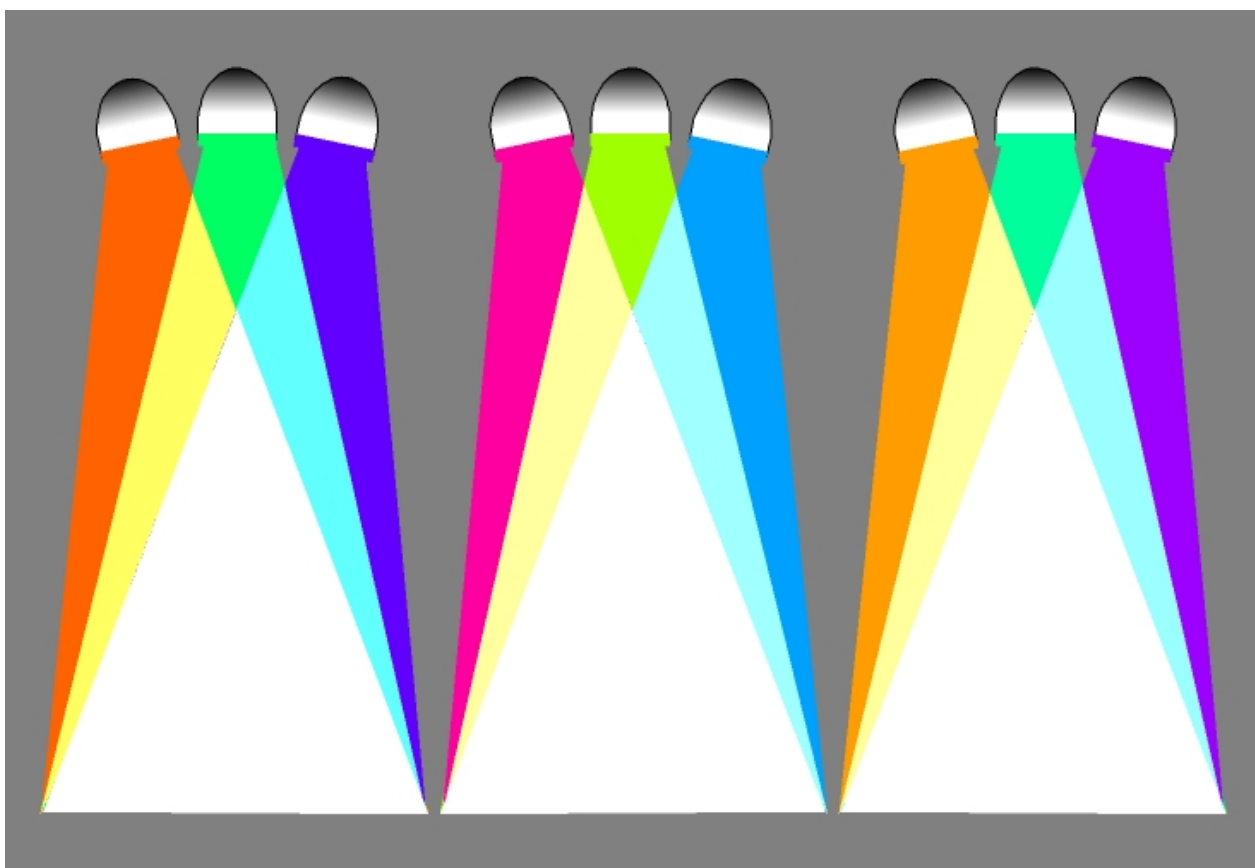


Рис. 2, а.

Ощущения, по отдельности вызываемые кардинальными стимулами первой тройки с некоторой натяжкой могут быть отнесены к привычным «красному», «зеленому» и «синему».

Ощущения, по отдельности вызываемые кардинальными стимулами второй тройки, не могут быть отнесены ни к привычным «красному», «зеленому» и «синему», ни к «голубому», «пурпурному» и «желтому», а занимают некое промежуточное положение.

Ощущения, по отдельности вызываемые кардинальными стимулами последней тройки, радикально отличаются от RGB и CMY-групп.

Поскольку не существует трех таких кардинальных стимулов, смешением которых можно получить все цветовые ощущения, то с «неуравниваемыми» ощущениями поступают так же, как со взвешиваемыми предметами, вес которых не определить из-за отсутствия нужных разновесов: имеющиеся разновесы помещают на чашку со взвешиваемым предметом, и вес определяется как разность между весом гирек на двух чашках весов. Аналогично поступают и с «неуравниваемыми» ощущениями: к стимулу, вызывающему «слишком» насыщенное ощущение добавляют некоторое удельное количество одного (или даже двух) кардинальных стимулов, которые делают ощущение менее насыщенным. После этого получившееся ощущение уравнивают оставшимися кардинальными стимулами, а удельным количеством кардинальных стимулов, смешанных с измеряемым, присваивают отрицательные значения.

В целом мы получаем *цветовую координатную систему*, в которой любое цветовое ощущение может быть описано через удельные количества кардинальных стимулов, вызывающих это ощущение. Т.е. любое цветовое ощущение может быть выражено через три цветовых координаты, которые могут иметь и отрицательные значения. Такая цветовая

координатная система будет определяться тремя кардинальными стимулами и опорным белым светом.

Практическим решением задачи цветовых измерений на основе описанных принципов стало создание специальных измерительных приборов — *трехстимульных визуальных колориметров*.

**Важное примечание:**

Первый колориметр появился в конце XIX века и представлял собой картонный круг, разделенный на три окрашенных сектора (вертушка Максвелла, см. рис. 1), который освещался белым светом. Круг вращался, и в зависимости от относительной площади секторов возникало то или иное цветовое ощущение.

Затем, в начале двадцатых годов XX века, в Британии, Дж. Гилд (John Guild), работавший в Английской национальной физической лаборатории, создал колориметр оригинальной конструкции, использовавший в качестве источника белого света газополную лампу накаливания с коррелированной цветовой температурой 2856К. Свет от лампы проходил через специальный конверсионный фильтр (фильтр Дэвиса-Гибсона) и приобретал спектр, близкий к спектру дневного света с коррелированной температурой 6500К. От этого же источника свет направлялся на специальные фильтры, в результате чего образовывалось три узкополосных кардинальных стимула с длинами волн: 700,0 нм (вызывает ощущение насыщенного красного), 546,1 нм (вызывает ощущение насыщенного зеленого) и 435,8 нм (вызывает ощущение насыщенного синего).

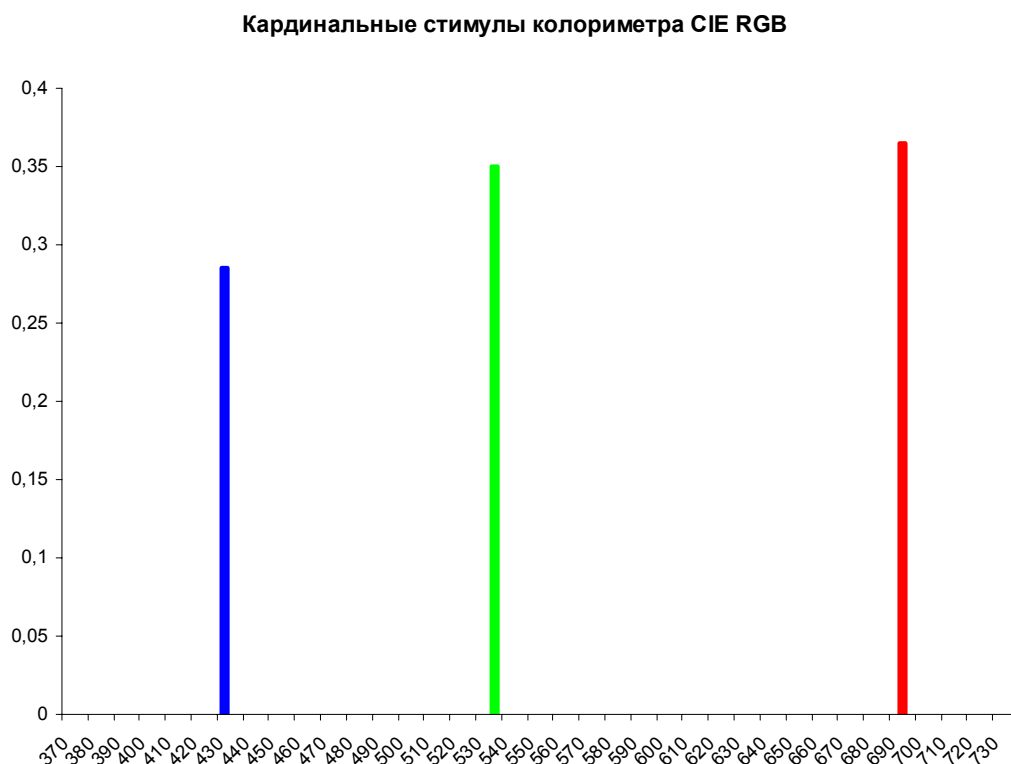


Рис. 2, б.

В тот же период по заказу Британского исследовательского совета в Императорском колледже наук и технологии работал американский исследователь Райт (W.D. Wright), создавший колориметр собственной конструкции. Основное отличие колориметра Райта от колориметра Гилда состояло в том, что кардинальные стимулы получались за счет прохождения белого света через три призмы со шторками, вырезающими узкие спектральные полосы.

Колориметры Гилда и Райта были использованы для проведения фундаментальных научных исследований, которые в свою очередь легли в основу колориметрического стандарта, принятого Международным Осветительным Конгрессом (CIE) в 1931 году и действующего по сей день. В качестве основного колориметра был выбран колориметр Гилда, а данные Райта были добавлены и усреднены с данными Гилда.

Международный осветительный конгресс принял символы обозначения кардинальных стимулов колориметра Гилда по первым буквам *приблизительных* названий цветовых ощущений, которые эти стимулы вызывают: R — red; G — green; B — blue. Такая, казалось бы, логичная система обозначений внесла в дальнейшем серьезную путаницу в понимание колориметрических принципов, о чем приходится только сожалеть. В то же время мы вынуждены придерживаться принятой тогда системы обозначений RGB.

Независимо от конструктивного решения колориметр должен отвечать следующим требованиям:

1. *Кардинальность* — стимулы колориметра должны быть кардинальными (см. пояснение к первому закону Грассмана).

Обращаем особое внимание на то, что требование кардинальности не означает требования узкополосности: кардинальные стимулы колориметра не обязаны представлять собой узкие спектральные полосы, а могут иметь некую, порой довольно сложную кривую спектрального распределения электромагнитной энергии, как, скажем, в вертушке Максвелла. Чем уже спектр кардинальных стимулов колориметра, тем больше его цветовой охват, и наоборот.

**Примечание:**

Цветовым охватом колориметра называется совокупность цветовых ощущений человека, которые можно измерить без использования отрицательных значений удельных количеств кардинальных стимулов. То есть, цветовой охват колориметра — это совокупность всех цветовых ощущений человека, которые можно **воспроизвести** на данном колориметре, смешивая его кардинальные стимулы.

Гилд и Райт стремились получить узкополосные кардинальные стимулы, так как старались обеспечить максимально возможный цветовой охват своих колориметров, заведомо превышающий охват промышленных цветовоспроизводящих устройств, а также по мотивам научного характера.

2. *Наличие источника «белого света»*, который принимается за опорный.

3. *Энергетическая переменность* — энергетическая интенсивность кардинальных стимулов должна быть изменяема в определенном диапазоне (от нуля до некоего максимума). **При этом СРЭ стимула должно изменяться пропорционально по всему видимому спектру.**

4. *Независимость управления* энергетической интенсивностью стимулов — изменение интенсивности одного стимула не должно приводить к изменению интенсивности двух других.

5. *Временная стабильность* — характер стимулов не должен меняться со временем.

Принципиальная схема трехстимульного колориметра Гилда (CIE) показана на рис. 3



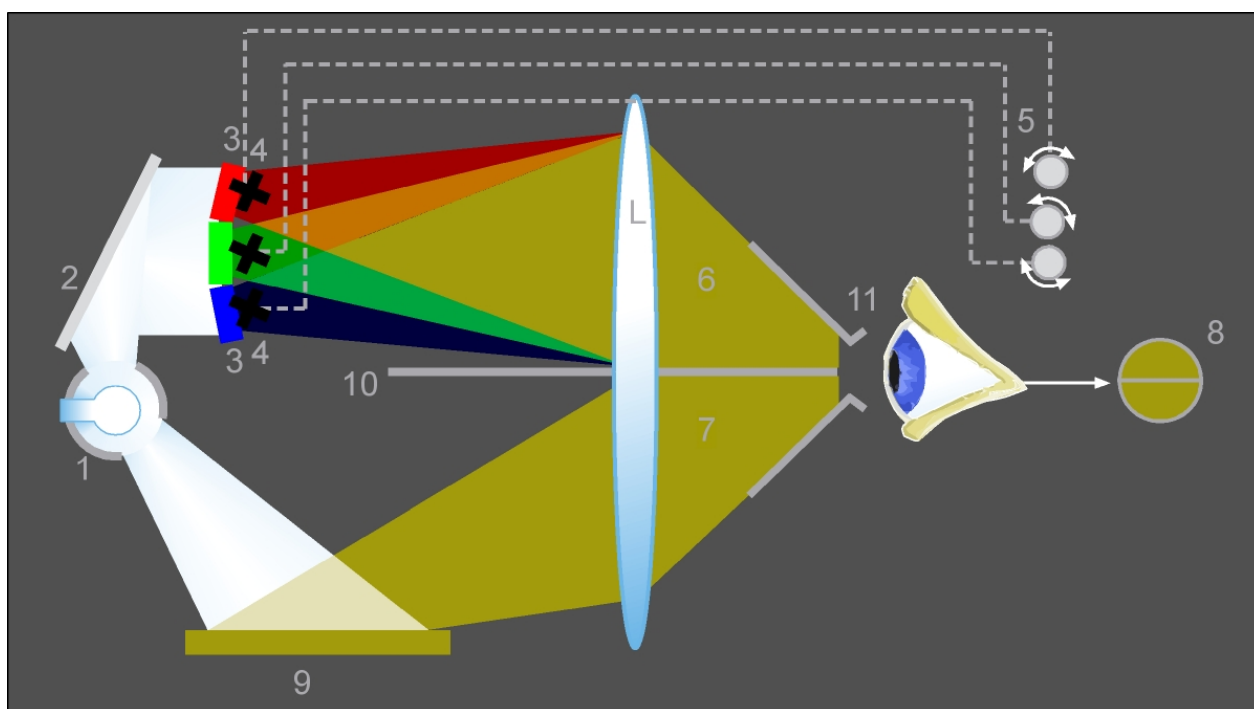


Рис. 3. 1 — источник опорного белого света; 2 — зеркало; 3 — фильтры; 4 — obtюраторы, меняющие интенсивность (удельное количество) стимулов; 5 — регуляторы угла раскрытия obtюраторов; 6 — уравнивающий стимул; 7 — уравниваемый стимул; 8 — поле сравнения; 9 — исследуемый образец; 10 — разделительная перегородка; 11 — визир; L — фокусирующая линза.

Регулировка интенсивности кардинальных стимулов конструктивно и технологически достигается по-разному: в колориметре Гилда интенсивность кардинальных стимулов меняется за счет изменения угла раскрытия вращающихся obtюраторов светового потока, в колориметре Райта — за счет изменения просвета специальных апертур, в вертушке Максвелла — за счет изменения угла сектора на вращающемся с постоянной угловой скоростью цветовом круге и т.д.

Для того чтобы выполнить цветное измерение, необходима градуировка шкал прибора, которая выполняется по следующему принципу: за ноль принимается положение каждого из трех регуляторов, при котором полностью перекрыт световой поток, то есть цветовые стимулы отсутствуют. За единицу принимается положение регуляторов, при котором уравнивается ощущение от опорного белого света. Участок между положением «0» и «1» разбивается на определенное количество равных промежутков, которые задают цену деления шкал прибора.<sup>6</sup> Важно подчеркнуть, что отсчеты по шкалам будут пропорциональны количеству световой энергии, попадающей на сетчатку глаза наблюдателя, то есть мы получаем **энергетически линейную шкалу измерений**.

Трехстимульный визуальный колориметр позволил решать две принципиальных задачи:

— **измерять цветовые ощущения человека, возникающие при рассмотрении той или иной поверхности или светящегося объекта, то есть давать им численное выражение;**

<sup>6</sup> В колориметре СИЕ положение уравнивания опорного белого света для каждого кардинального стимула было принято за 0,33, что не имеет принципиального значения для измерений.

— создавать стимул, который вызовет цветовое ощущение, соответствующее уже имеющимся числовым данным, то есть воспроизводить заданное цветовое ощущение.

Измерение цветового ощущения на визуальном колориметре проводилось так (разберем на примере измерения цвета окрашенных поверхностей): некая поверхность освещалась опорным белым светом от стандартного источника и представляла собой т.н. верхнее поле сравнения. Наблюдатель, который прошел темновую адаптацию в течение 10–15 минут, вращал регуляторы интенсивности кардинальных стимулов и уравнивал цветовое ощущение от нижнего поля сравнения с ощущением от верхнего. Когда достигалось равенство ощущений, снимались числовые показания.

Полученные на шкале регуляторов колориметра значения и представляли собой координаты цветового ощущения, вызванного светом, отраженным от исследуемого объекта, в цветовой координатной системе данного колориметра, которая, напомним, определяется тремя кардинальными стимулами и опорным белым светом данного колориметра.

Если мы произведем измерение цветового ощущения от той же самой окрашенной поверхности с помощью другого колориметра, имеющего иные кардинальные стимулы и/или иной опорный белый свет, то мы получим иные числовые данные. Что понятно, поскольку другой колориметр — это другая цветовая координатная система.

В практике промышленной колориметрии измерения сразу же стали проводиться на приборах разной конструкции, имевших разный опорный белый свет и разные кардинальные стимулы, что вызвало необходимость создания алгоритма перехода между цветовыми координатными системами разных колориметров.

Такой переход возможен благодаря явлению, определяемому третьим законом Грассмана: **цветовое ощущение от смеси стимулов зависит только от цветового ощущения, вызываемого каждым отдельным стимулом, а не от спектрального состава стимулов.** К примеру,

$$\text{если стимул } A = B \text{ и стимул } C = D, \text{ то } A + C = B + D$$

то есть, если на колориметре «1» были измерены цветовые координаты некоего цветового ощущения, то это же цветовое ощущение можно воспроизвести на колориметре «2», но при этом соотношение удельных количеств кардинальных стимулов колориметра «2» будет отличным от соотношения удельных количеств кардинальных стимулов в колориметре «1». Таким образом, цветовые координаты одного и того же цветового ощущения в цветовых координатных системах разных колориметров будут различными.

Для того чтобы перейти от данных измерения цветового ощущения на одном колориметре к данным другого колориметра, то есть для того, чтобы цветовое ощущение, измеренное на колориметре «1», воспроизвести на колориметре «2», необходимо предварительно на колориметре «2» измерить цветовые координаты кардинальных стимулов и координаты опорного белого света колориметра «1». Ниже в общем виде показана система уравнений такого измерения.

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= c_{11}R_2 + c_{12}G_2 + c_{13}B_2 \\ G_1 &= c_{21}R_2 + c_{22}G_2 + c_{23}B_2 \\ B_1 &= c_{31}R_2 + c_{32}G_2 + c_{33}B_2 \\ W_1 &= c_{41}R_2 + c_{42}G_2 + c_{43}B_2 \end{aligned} \right\} (1)$$

где  $R_1, G_1, B_1$  — кардинальные стимулы колориметра «1»;  $W_1$  — опорный белый свет колориметра «1»;  $R_2, G_2, B_2$  — кардинальные стимулы колориметра «2»;  $c_{11} \dots c_{33}$  — линейные коэффициенты, полученные в результате измерения.

Но  $W_1$  также получается сложением определенных количеств кардинальных стимулов первого колориметра ( $R_1, G_1$  и  $B_1$ ). Следовательно, для первого колориметра можно написать выражение<sup>7</sup>:

$$\alpha_4 W_1 = \alpha_1 R_1 + \alpha_2 G_1 + \alpha_3 B_1$$

Поскольку коэффициент  $\alpha_4$  может быть выражен как:

$$\alpha_4 = \begin{vmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{vmatrix},$$

то, умножив первые три уравнения системы (1) соответственно на  $\alpha_1, \alpha_2$  и  $\alpha_3$ , мы получим:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 R_1 &= \alpha_1 c_{11} R_2 + \alpha_1 c_{12} G_2 + \alpha_1 c_{13} B_2 \equiv d_{11} R_2 + d_{12} G_2 + d_{13} B_2 \\ \alpha_2 G_1 &= \alpha_2 c_{21} R_2 + \alpha_2 c_{22} G_2 + \alpha_2 c_{23} B_2 \equiv d_{21} R_2 + d_{22} G_2 + d_{23} B_2 \\ \alpha_3 B_1 &= \alpha_3 c_{31} R_2 + \alpha_3 c_{32} G_2 + \alpha_3 c_{33} B_2 \equiv d_{31} R_2 + d_{32} G_2 + d_{33} B_2 \end{aligned} \right\} (2)$$

Поэтому переход из системы координат одного колориметра в систему координат другого колориметра будет представлять собой систему линейных уравнений:

$$\begin{aligned} \alpha_{11} R_1 + \alpha_{12} G_1 + \alpha_{13} B_1 &= d_{11} R_2 + d_{12} G_2 + d_{13} B_2 \\ \alpha_{21} R_1 + \alpha_{22} G_1 + \alpha_{23} B_1 &= d_{21} R_2 + d_{22} G_2 + d_{23} B_2 \\ \alpha_{31} R_1 + \alpha_{32} G_1 + \alpha_{33} B_1 &= d_{31} R_2 + d_{32} G_2 + d_{33} B_2 \end{aligned}$$

Для быстроты и удобства иногда записывают так:

$$\begin{bmatrix} R_2 \\ G_2 \\ B_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_1 \\ G_1 \\ B_1 \end{bmatrix}$$

Практическое измерение кардинальных стимулов и опорного белого света одного колориметра другим колориметром — очень трудная, почти невыполнимая задача, так как визуальные колориметры представляют собой тяжелые, громоздкие установки.

Однако любой цветовой стимул, в том числе кардинальные стимулы и опорный белый свет колориметров, можно рассматривать как аддитивную смесь узкополосных (спектрально-чистых) стимулов (рис 4).

<sup>7</sup> Для того чтобы не возникало путаницы (и для большей наглядности), линейные коэффициенты, относящиеся к первому колориметру, мы будем обозначать строчными буквами начала греческого алфавита, а коэффициенты, относящиеся ко второму колориметру — строчными буквами начала латинского алфавита.

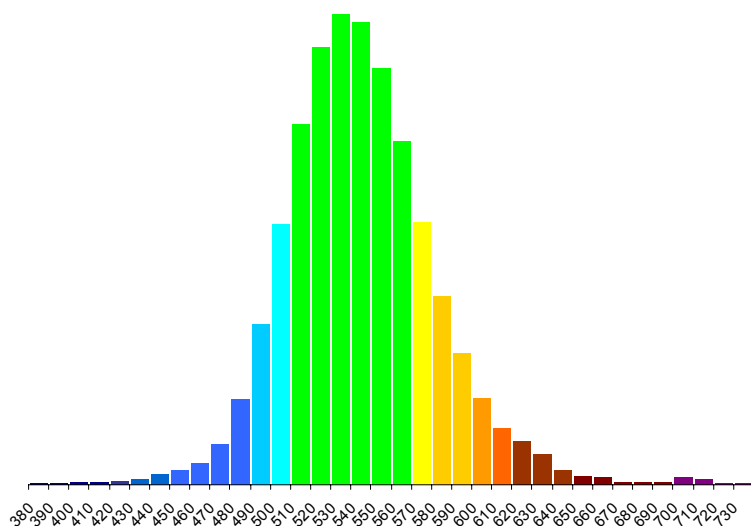
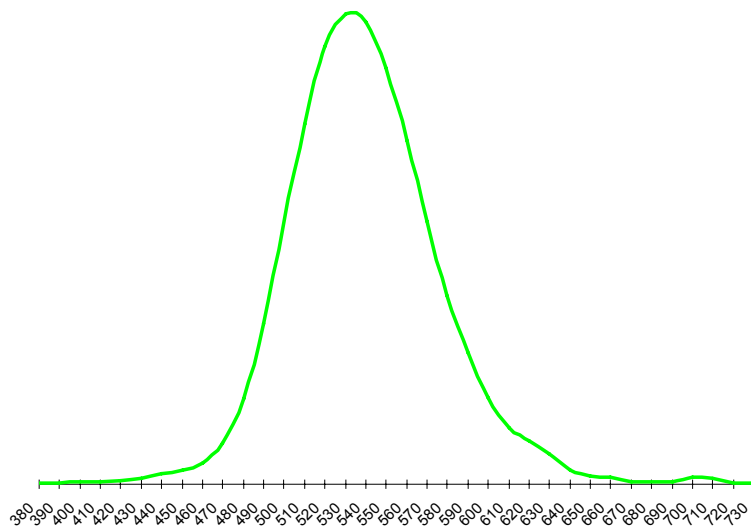


Рис. 4. Некий стимул, вызывающий ощущение «зеленого» цвета (вверху), и тот же стимул, представленный в виде аддитивной смеси узкополосных стимулов (внизу).

Тогда, если мы знаем цветовые координаты каждого из узкополосных стимулов, мы можем узнать и цветовые координаты суммарного стимула. Чтобы узнать цветовые координаты суммарного стимула, необходимо будет сложить нормированные значения цветовых координат измеренных узкополосных (спектрально-чистых) стимулов.

Поэтому нет необходимости в прямых измерениях стимулов одного колориметра другим колориметром. Мы можем (воспользовавшись дифракционной решеткой или призмой со шторками) произвести колориметрические измерения узких спектральных полосок (спектрально-чистых стимулов) на колориметре «2» с определенным шагом (как правило, выбирают 10 Нм) по всему видимому диапазону длин волн и построить т.н. *кривые сложения* (их еще называют «кривыми смещения») для наблюдателей колориметра «2».

Принципиальная схема измерения спектрально-чистых стимулов показана на рис. 5.

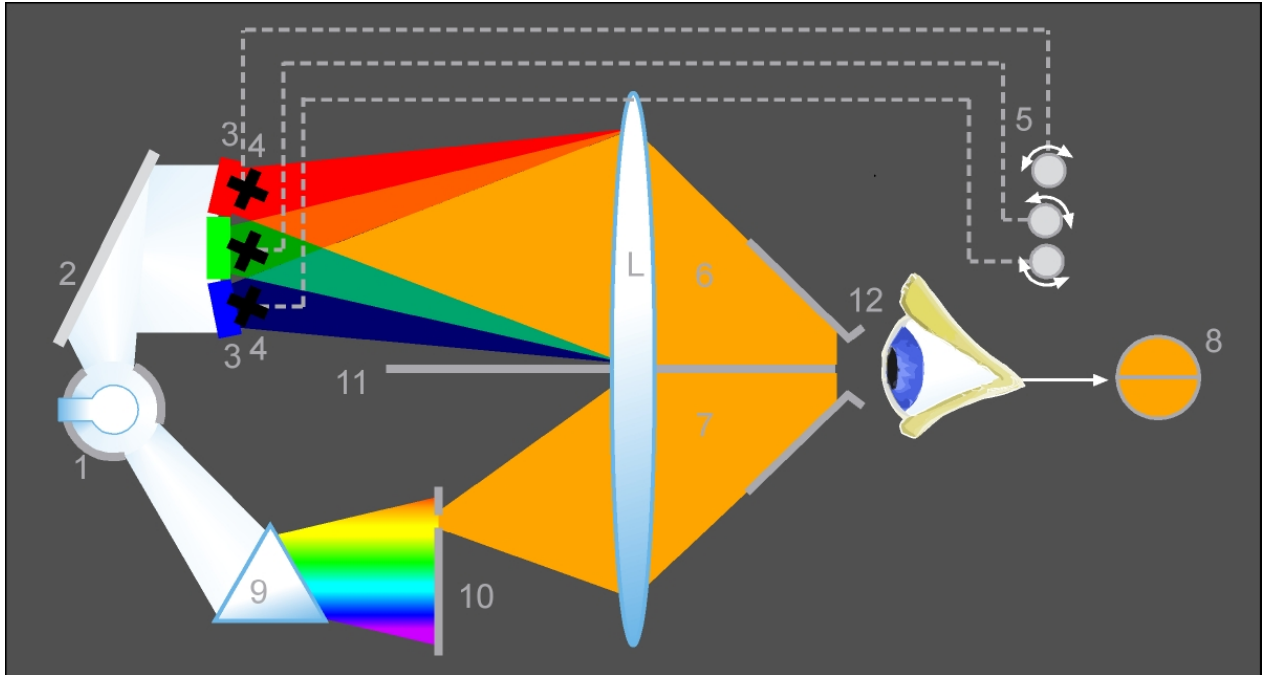


Рис. 5. 1 — источник опорного белого света; 2 — зеркало; 3 — фильтры; 4 — obtюраторы, меняющие интенсивность (удельное количество) стимулов; 5 — регуляторы угла раскрытия obtюраторов; 6 — уравнивающий стимул; 7 — уравниваемый стимул; 8 — поле сравнения; 9 — призма; 10 — шторка с узкой щелью; 11 — разделительная перегородка; 12 — визир; L — фокусирующая линза.

В случае, когда уравнивание спектрально-чистого стимула оказывается невозможным (как мы уже говорили — это характерно для большинства спектрально-чистых стимулов), один или два кардинальных стимула перенаправляют и добавляют к измеряемому спектрально-чистому стимулу, «загрязняя» его (см. рис. 6). Удельным количествам кардинальных стимулов, смешанных с измеряемым, присваивают отрицательные значения (отрицательные значения координат).

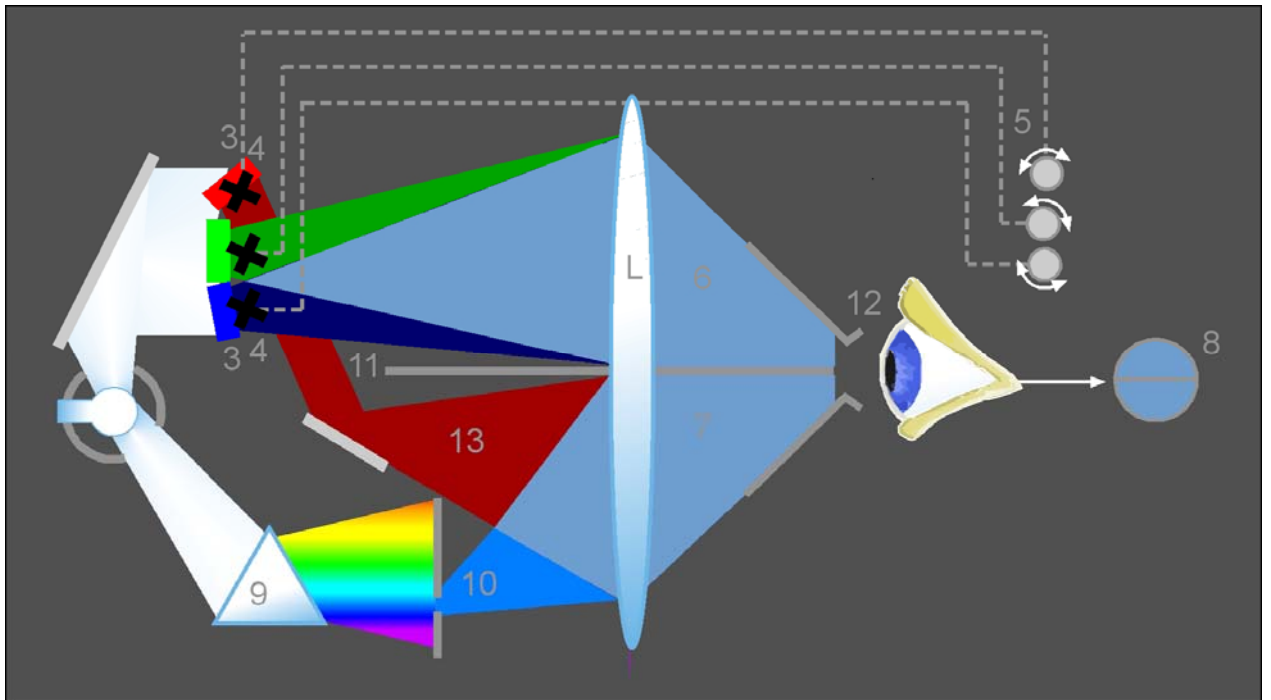


Рис. 6. 1 — источник опорного белого света; 2 — зеркало; 3 — фильтры; 4 — obtюраторы, меняющие интенсивность (удельное количество) стимулов; 5 — регуляторы угла раскрытия obtюраторов; 6 — уравнивающий стимул; 7 — уравниваемый стимул; 8 — поле сравнения; 9 — призма; 10 — шторка с узкой щелью; 11 — разделительная перегородка; 12 — визир; 13 — перенаправленный стимул; L — фокусирующая линза.

Удельные количества кардинальных стимулов колориметра (цветовые координаты), которые уравнивают ощущение от воздействия какого-либо спектрально-чистого (узкополосного) стимула, принято обозначать строчными буквами с горизонтальной чертой наверху и подстрочным индексом, указывающим длину волны измеряемого узкополосного стимула. К примеру, цветовые координаты ощущения от воздействия спектрально-чистого (узкополосного) стимула с длиной волны 470 нм обозначают как:

$$\overline{r_{470}} \quad \overline{g_{470}} \quad \overline{b_{470}}$$

Понятно, что если измерить узкополосные стимулы по всему видимому спектру с шагом, скажем, 10 Нм, то получится 35 троек удельных количеств кардинальных стимулов, то есть 35 наборов цветовых координат. Соответственно, можно построить три графика, где по оси абсцисс отложены длины волн, а по оси ординат — удельные количества кардинальных стимулов. Такие графики носят название *кривых сложения* наблюдателя для данного колориметра.

Процедура измерения на данном колориметре спектрально-чистых узкополосных стимулов по всему видимому диапазону длин волн и построение кривых сложения является процедурой *спецификации* данного колориметра.

Итак, зная кривые спектрального распределения энергии кардинальных стимулов колориметра «1» и кривую спектрального распределения энергии опорного белого света колориметра «1», можно получить выражение кардинальных стимулов колориметра «1» в цветовых координатах колориметра «2»:

$$\begin{aligned}
R_1 &= \sum_{\lambda=380}^{730} \overline{r_{2,\lambda}} S_{r,1,\lambda} W_{1,\lambda} + \sum_{\lambda=380}^{730} \overline{g_{2,\lambda}} S_{r,1,\lambda} W_{1,\lambda} + \sum_{\lambda=380}^{730} \overline{b_{2,\lambda}} S_{r,1,\lambda} W_{1,\lambda} \equiv e_{11} R_2 + e_{12} G_2 + e_{13} B_2 \\
G_1 &= \sum_{\lambda=380}^{730} \overline{r_{2,\lambda}} S_{g,1,\lambda} W_{1,\lambda} + \sum_{\lambda=380}^{730} \overline{g_{2,\lambda}} S_{g,1,\lambda} W_{1,\lambda} + \sum_{\lambda=380}^{730} \overline{b_{2,\lambda}} S_{g,1,\lambda} W_{1,\lambda} \equiv e_{21} R_2 + e_{22} G_2 + e_{23} B_2 \\
B_1 &= \sum_{\lambda=380}^{730} \overline{r_{2,\lambda}} S_{b,1,\lambda} W_{1,\lambda} + \sum_{\lambda=380}^{730} \overline{g_{2,\lambda}} S_{b,1,\lambda} W_{1,\lambda} + \sum_{\lambda=380}^{730} \overline{b_{2,\lambda}} S_{b,1,\lambda} W_{1,\lambda} \equiv e_{31} R_2 + e_{32} G_2 + e_{33} B_2
\end{aligned}$$

где  $\overline{r_{2,\lambda}}$ ,  $\overline{g_{2,\lambda}}$ ,  $\overline{b_{2,\lambda}}$  — ординаты кривых сложения колориметра «2» для данной длины волны;  $S_{r,1,\lambda}$ ,  $S_{g,1,\lambda}$ ,  $S_{b,1,\lambda}$  — спектральное распределение энергии кардинальных стимулов колориметра «1»;  $W_{1,\lambda}$  — спектральное распределение энергии опорного белого света колориметра «1»,

и, соответственно, написать матричное уравнение перехода.

Практическое визуальное колориметрическое измерение спектрально-чистых стимулов и построение кривых сложения проведены независимо друг от друга Гилдом и Райтом в 1926–27 гг. Результаты измерений были рассмотрены в 1931 году Международным Осветительным Конгрессом, усреднены и приняты в качестве международного стандарта.

Для получения узких спектральных полос сквозь призму со щелевой шторкой пропускался белый свет стандарта Английской Национальной Физической Лаборатории, со спектральным составом, показанным на рис. 7а (т.н. В-источник с коррелированной цветовой температурой 4800К). Измерения были проведены в диапазоне от 380 до 730 нм с шагом 10 Нм.

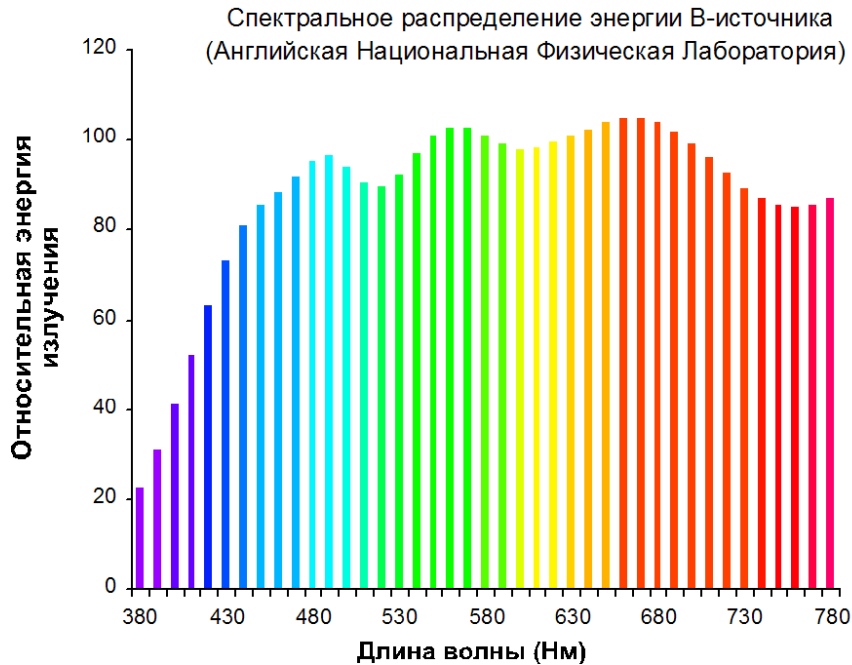


Рис. 7, а. Спектральное распределение энергии В-источника, для наглядности разбитое на узкополосные стимулы.

Результаты измерений спектрально-чистых стимулов, полученных из В-источника,

были пересчитаны на равноэнергетические стимулы. Полученные в результате кривые сложения показаны на рис. 7,б.

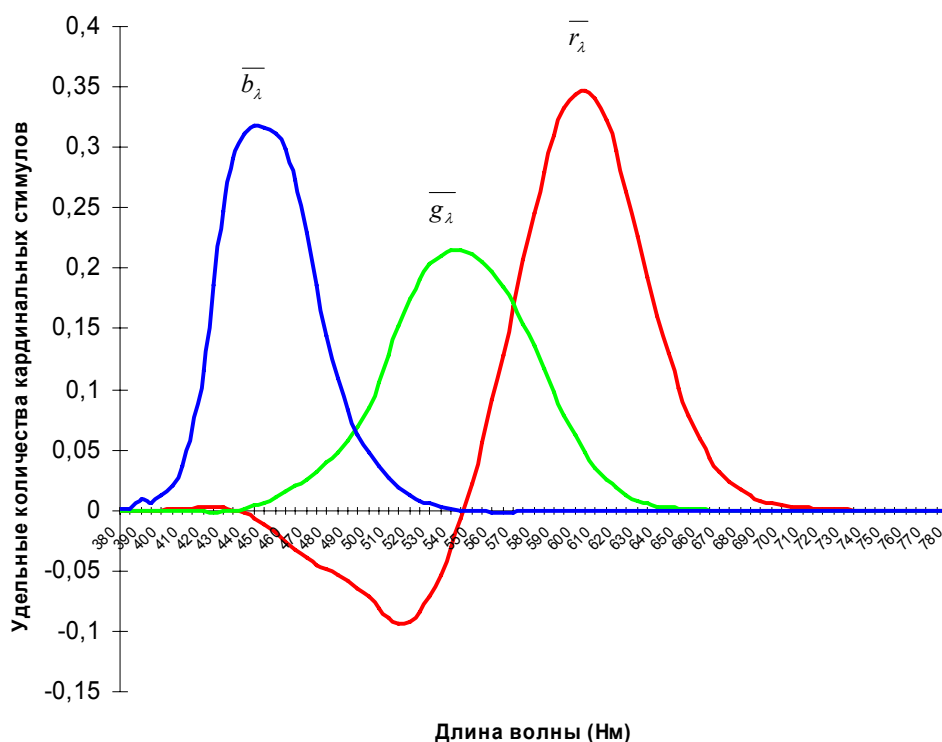


Рис. 7, б. Кривые сложения для наблюдателя колориметра CIE RGB (стандартного наблюдателя). Хорошо видны отрицательные значения на участке 440-550 нм по г-стимулу — это означает, что для визуального уравнивания спектрально-чистых стимулов с длиной волны от 450 до 550 нм к ним потребовалось добавить определенное количество г-стимула. Также понадобились небольшие добавки g-стимула на участке 380-430 нм и b-стимула на участке 550-670 нм (в силу малых значений они не видны на графике).

Обращаем особое внимание на то, что кривые сложения не имеют прямого отношения к широко известным кривым спектральной чувствительности колбочек сетчатки. **Кривые сложения стандартного наблюдателя CIE — это отображение психофизиологической реакции человека на 35 равноэнергетических узкополосных стимулов в видимом диапазоне длин волн электромагнитного излучения.**

Поскольку колориметр CIE RGB (колориметр Гилда) обладает хоть и очень большим, но все же ограниченным цветовым охватом, то с целью ухода от нежелательных отрицательных значений и для удобства вычислений Международный Осветительный Конгресс принял в качестве стандартного абстрактный колориметр CIE XYZ (предложен Д.Б. Джаддом [D.V. Jadd, США], как выход из создавшегося положения), который получен путем замены реальных кардинальных стимулов колориметра Гилда (колориметр CIE RGB) на нереальные кардинальные стимулы (XYZ) и реального опорного белого света — на гипотетический равноэнергетический световой поток (Ideal illuminant) с условной интенсивностью 100 cd/m<sup>2</sup>.

Стимулы XYZ подобраны так, что в кривых сложения колориметра CIE XYZ, при их расчете из кривых сложения CIE RGB, не возникает отрицательных значений (рис. 7 в), а яркостная энергетическая составляющая приходится только на стимул «Y».



Нереальные стимулы XYZ получены путем пропорционального увеличения длин сторон т.н. цветового треугольника, описание которого было бы лишним в данной статье.

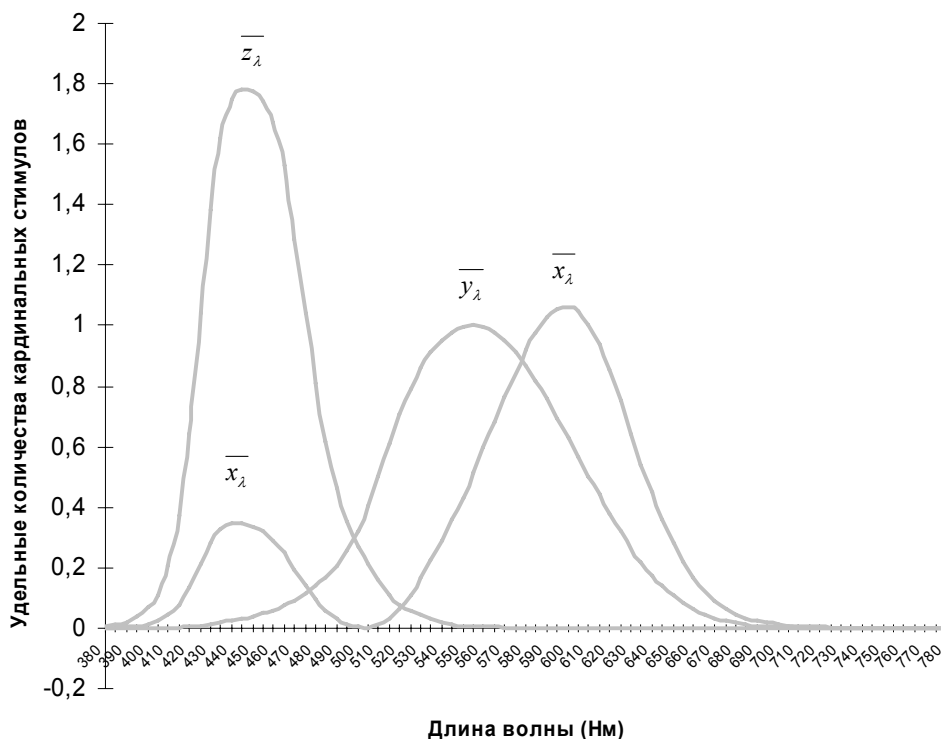


Рис. 7, в. Кривые сложения для наблюдателя абстрактного колориметра CIE XYZ. Хорошо видно, что отрицательных значений нет.

Поскольку стимулы колориметра CIE XYZ нереальны, на графике они обозначены серым.

Ни самого колориметра CIE XYZ, ни его кардинальных стимулов физически не существует (и не может существовать), но данная координатная система очень удобна для осуществления перехода от одного реального колориметра к другому реальному колориметру.

Ниже показана система уравнений, связывающая колориметр «1» с абстрактным колориметром XYZ<sup>8</sup>:

$$\begin{aligned}
 R_1 &= \sum_{\lambda=380}^{730} \overline{x}_\lambda S_{r,1,\lambda} W_{1,\lambda} + \sum_{\lambda=380}^{730} \overline{y}_\lambda S_{r,1,\lambda} W_{1,\lambda} + \sum_{\lambda=380}^{730} \overline{z}_\lambda S_{r,1,\lambda} W_{1,\lambda} \equiv v_{11}X + v_{12}Y + v_{13}Z \\
 G_1 &= \sum_{\lambda=380}^{730} \overline{x}_\lambda S_{g,1,\lambda} W_{1,\lambda} + \sum_{\lambda=380}^{730} \overline{y}_\lambda S_{g,1,\lambda} W_{1,\lambda} + \sum_{\lambda=380}^{730} \overline{z}_\lambda S_{g,1,\lambda} W_{1,\lambda} \equiv v_{21}X + v_{22}Y + v_{23}Z \\
 B_1 &= \sum_{\lambda=380}^{730} \overline{x}_\lambda S_{b,1,\lambda} W_{1,\lambda} + \sum_{\lambda=380}^{730} \overline{y}_\lambda S_{b,1,\lambda} W_{1,\lambda} + \sum_{\lambda=380}^{730} \overline{z}_\lambda S_{b,1,\lambda} W_{1,\lambda} \equiv v_{31}X + v_{32}Y + v_{33}Z
 \end{aligned}$$

<sup>8</sup> Линейные коэффициенты абстрактного колориметра CIE XYZ мы будем обозначать строчными буквами конца греческого алфавита. Для простоты изложения материала в данной и нижеприведенных формулах опущен специальный нормирующий коэффициент.

где  $\bar{x}_\lambda$ ,  $\bar{y}_\lambda$ ,  $\bar{z}_\lambda$  — ординаты кривых сложения колориметра CIE XYZ для данной длины волны;  $S_{r,1,\lambda}$ ,  $S_{g,1,\lambda}$ ,  $S_{b,1,\lambda}$  — спектральное распределение энергии кардинальных стимулов колориметра «1»;  $W_{1\lambda}$  — спектральное распределение энергии опорного белого света колориметра «1».

Таким образом, если некое цветовое ощущение измерено колориметром «1» и известны кривые спектрального распределения энергии (СРЭ) кардинальных стимулов и опорного белого света этого колориметра, то, пользуясь кривыми сложения абстрактного колориметра CIE XYZ, всегда можно выразить цветовые координаты данного цветового ощущения, полученные на колориметре «1», в цветовой координатной системе колориметра CIE XYZ.

К примеру, если цветовое ощущение, измеренное на колориметре «1», представляет собой цветовые координаты:  $\beta_1 R_1 \beta_2 G_1 \beta_3 B_1$ , то ответ на вопрос «Каковы будут цветовые координаты этого ощущения в системе XYZ?» можно получить, произведя вычисления по формулам:

$$\begin{aligned}\omega_1 X &= \beta_1 \left( \sum_{\lambda=380}^{730} \bar{x}_\lambda S_{r,1,\lambda} W_{1,\lambda} + \sum_{\lambda=380}^{730} \bar{y}_\lambda S_{r,1,\lambda} W_{1,\lambda} + \sum_{\lambda=380}^{730} \bar{z}_\lambda S_{r,1,\lambda} W_{1,\lambda} \right) \\ \omega_2 Y &= \beta_2 \left( \sum_{\lambda=380}^{730} \bar{x}_\lambda S_{g,1,\lambda} W_{1,\lambda} + \sum_{\lambda=380}^{730} \bar{y}_\lambda S_{g,1,\lambda} W_{1,\lambda} + \sum_{\lambda=380}^{730} \bar{z}_\lambda S_{g,1,\lambda} W_{1,\lambda} \right) \\ \omega_3 Z &= \beta_3 \left( \sum_{\lambda=380}^{730} \bar{x}_\lambda S_{b,1,\lambda} W_{1,\lambda} + \sum_{\lambda=380}^{730} \bar{y}_\lambda S_{b,1,\lambda} W_{1,\lambda} + \sum_{\lambda=380}^{730} \bar{z}_\lambda S_{b,1,\lambda} W_{1,\lambda} \right)\end{aligned}$$

И наоборот: зная цветовые координаты ощущения в XYZ и зная спектральные характеристики кардинальных стимулов и опорного белого света колориметра «2», всегда можно рассчитать необходимое соотношение кардинальных стимулов колориметра «2», воспроизводящее данное цветовое ощущение:

$$\begin{aligned}k_1 R_2 &= \frac{\omega_1 X}{\left( \sum_{\lambda=380}^{730} \bar{x}_\lambda S_{r,2,\lambda} W_{2,\lambda} + \sum_{\lambda=380}^{730} \bar{y}_\lambda S_{r,2,\lambda} W_{2,\lambda} + \sum_{\lambda=380}^{730} \bar{z}_\lambda S_{r,2,\lambda} W_{2,\lambda} \right)} \\ k_2 G_2 &= \frac{\omega_2 Y}{\left( \sum_{\lambda=380}^{730} \bar{x}_\lambda S_{g,2,\lambda} W_{2,\lambda} + \sum_{\lambda=380}^{730} \bar{y}_\lambda S_{g,2,\lambda} W_{2,\lambda} + \sum_{\lambda=380}^{730} \bar{z}_\lambda S_{g,2,\lambda} W_{2,\lambda} \right)} \\ k_3 B_2 &= \frac{\omega_3 Z}{\left( \sum_{\lambda=380}^{730} \bar{x}_\lambda S_{b,2,\lambda} W_{2,\lambda} + \sum_{\lambda=380}^{730} \bar{y}_\lambda S_{b,2,\lambda} W_{2,\lambda} + \sum_{\lambda=380}^{730} \bar{z}_\lambda S_{b,2,\lambda} W_{2,\lambda} \right)}\end{aligned}$$

где  $S_{r,2,\lambda}$ ,  $S_{g,2,\lambda}$ ,  $S_{b,2,\lambda}$  — спектральное распределение энергии кардинальных стимулов колориметра «2»;  $W_{2,\lambda}$  — спектральное распределение энергии опорного белого света колориметра «2».

Таким образом, цветовая координатная система абстрактного колориметра CIE XYZ может выступать в роли связующего математического пространства (connecting space) — то есть пространства, связывающего различные реальные (или нереальные, абстрактные) трехстимульные визуальные колориметры.

**Наличие кривых сложения избавляет от необходимости измерения кардинальных стимулов и опорного белого света одного реального колориметра другим реальным колориметром, да и в целом от применения визуальных колориметров, так как дает возможность массового применения дешевых и удобных спектральных измерений в колориметрических целях, что, пожалуй, является одним из главных достоинств системы CIE XYZ на сегодняшний день.**

Еще одним важным достоинством системы является то, что все возможные цветовые ощущения человека имеют уникальные *положительные* цветовые координаты в ЦКС CIE XYZ. Обратное утверждение неверно: поскольку кардинальные стимулы XYZ нереальны, не все математически возможные значения координат соответствуют реальным цветовым ощущениям человека.

Поскольку для CIE XYZ существуют кривые сложения, то достаточно знать кривую спектрального распределения энергии любого стимула, чтобы определить XYZ-координаты цветового ощущения, которое данный стимул вызывает.

$$\sum_{\lambda=380}^{730} \overline{x_{\lambda}} S_{\lambda} + \sum_{\lambda=380}^{730} \overline{y_{\lambda}} S_{\lambda} + \sum_{\lambda=380}^{730} \overline{z_{\lambda}} S_{\lambda} \equiv \tau_1 X + \tau_2 Y + \tau_3 Z$$

где  $\overline{x_{\lambda}}$ ,  $\overline{y_{\lambda}}$ ,  $\overline{z_{\lambda}}$  — ординаты кривых сложения колориметра CIE XYZ для данной длины волны;  $S_{\lambda}$  — спектральное распределение энергии в цветовом стимуле. Спектральное распределение энергии опорного белого света в данных формулах не учитывается, так как в колориметре CIE XYZ опорный белый свет «является» равноэнергетическим ( $W_{\lambda} = 1$ ).

**Примечание:**

По стандартным формулам всегда можно пересчитать координаты XYZ в координаты любой другой привычной и удобной ЦКС (L\*a\*b\*, Lch и т.п.). Современная компьютерная техника такие простые вычисления производит молниеносно, выдавая в ответ на спектральное измерение стимулов координаты вызываемых ими ощущений в интересующей пользователя ЦКС. Координаты XYZ подчас даже не отображаются в рабочих окнах программ, но необходимо помнить, что первичный расчет цветовых координат по спектральным данным всегда производится для абстрактного колориметра CIE XYZ.

Несмотря на свою нереальность, абстрактный колориметр CIE XYZ гарантирует достоверность обмена данными о цветовых ощущениях людей, что удобно и что используется по сей день, являясь международным колориметрическим стандартом.

\* \* \*

Теперь попробуем взглянуть на монитор как на трехстимульный визуальный колориметр и ответить на два вопроса: «Насколько это устройство отвечает требованиям, предъявляемым к колориметру?» и «Можно ли применить к монитору все те математические операции, о которых говорилось выше?». Для ответа на эти вопросы вспомним требования, предъявляемые к трехстимульному визуальному колориметру, и сопоставим их со свойствами монитора.

**1. Кардинальность — стимулы колориметра должны быть кардинальными.**

Смешивая все три исходных стимула монитора можно получить результирующий стимул, вызывающий ощущение белого цвета. Поэтому можно утверждать, что стимулы монитора кардинальны.

Нас не должно смущать то обстоятельство, что спектральное распределение энергии в кардинальных стимулах монитора представляет собой не узкую полосу (как в классическом колориметре CIE), а некую, необязательно равномерную, кривую (рис. 8, 9).

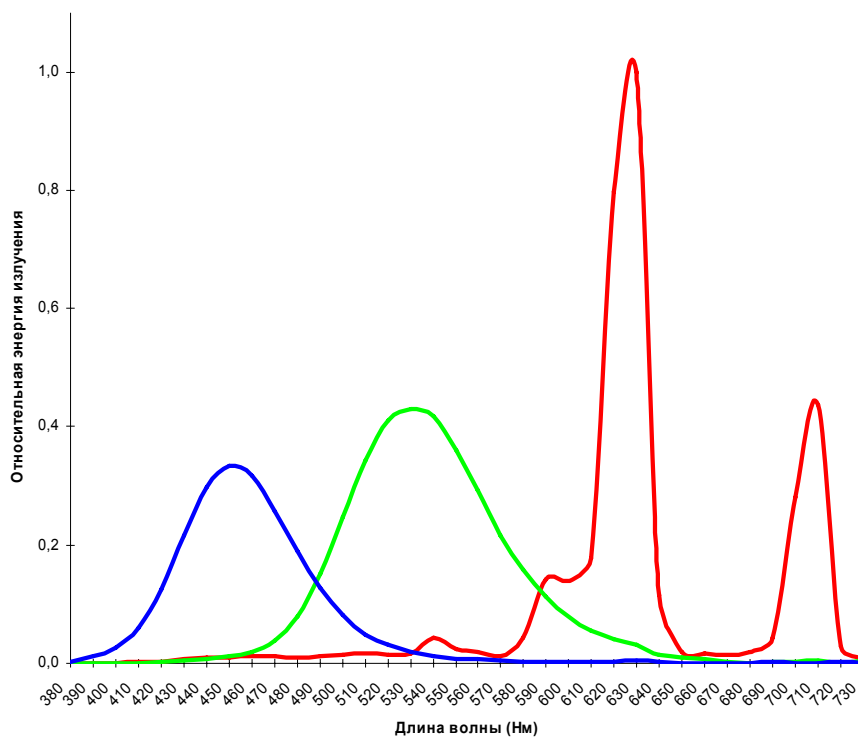


Рис. 8. Спектральное распределение энергии при полной интенсивности кардинальных стимулов CRT-монитора Mitsubishi Diamond Pro 930.

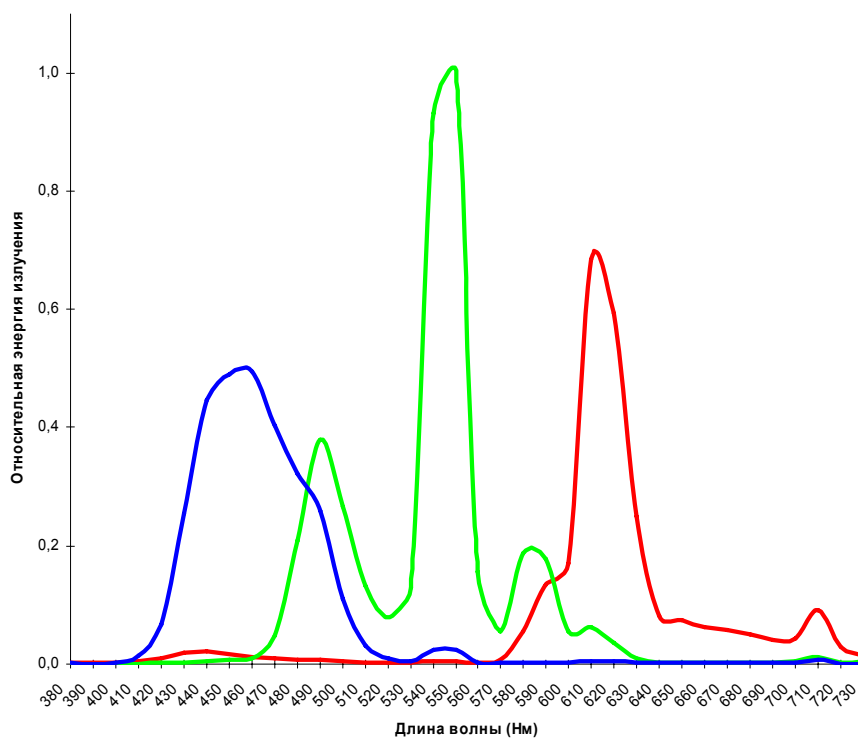


Рис. 9. Спектральное распределение энергии при полной интенсивности кардинальных стимулов TFT-монитора Eizo GC 18.

Спектральная «неузкополосность» кардинальных стимулов мониторов сказывается лишь на цветовом охвате мониторов, который существенно меньше, чем охват классического колориметра CIE RGB (рис. 10), что не лишает стимулы кардинальности.

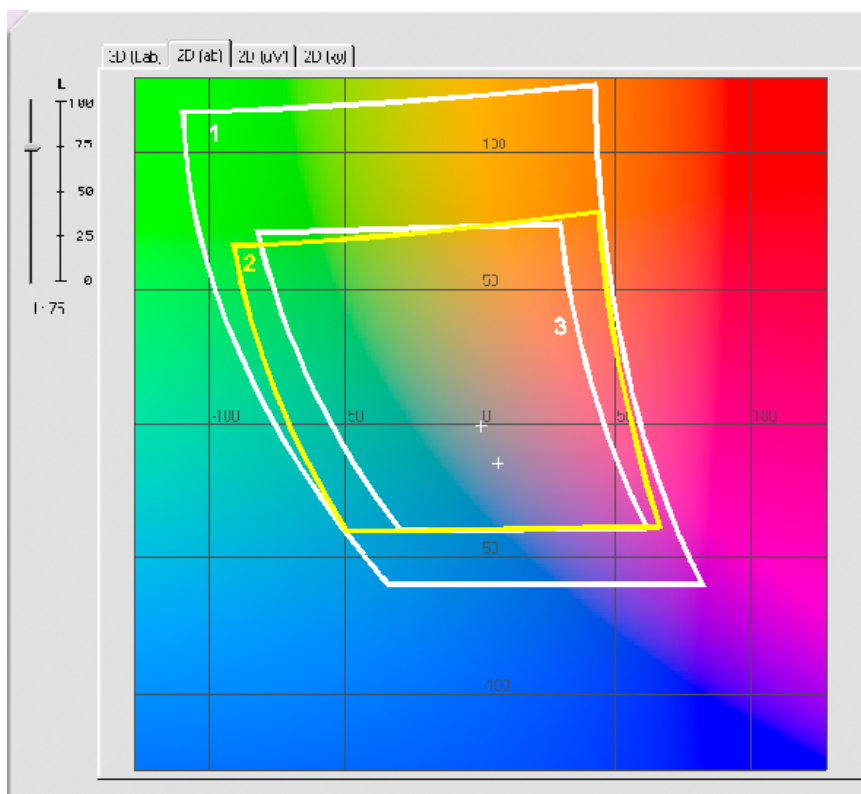


Рис. 10. ЦКС  $L^*a^*b^*$ , уровень светлоты L75. 1 — цветовой охват колориметра CIE RGB; 2 — цветовой охват CRT-монитора Mitsubishi Diamond Pro 920; 3 — цветовой охват TFT-монитора Eizo GC18.

Итак, мы видим, что первое требование, предъявляемое к трехстимульному колориметру, мониторами выполняется.

## 2. Наличие источника «белого света», который принимается за опорный.

Особенностью мониторов как колориметров, является то, что они призваны выполнять только одну из двух возможных функций колориметров: мониторы предназначены лишь для воспроизведения заданного цветового ощущения, но не используются для измерений<sup>9</sup>. Поэтому монитор не имеет самостоятельного источника опорного белого света, но мы *выбираем* свет того источника, который будет задавать уровень цветовой адаптации в процессе работы с данным монитором. Регулируя соотношение интенсивностей кардинальных стимулов монитора, мы добиваемся равенства ощущений от выбранного белого света и от поверхности экрана, задавая тем самым единицы измерения колориметра. Выбранный белый свет и будет являться опорным белым светом. К примеру, в качестве опорного мы можем выбрать свет лампы просмотрного места или свет некоего стандартного *гипотетического* источника (D50, D65 и т.д.).

В мониторах с LCD-дисплеями присутствует источник белого света, но он не может

<sup>9</sup> Сегодня для цветковых измерений используются спектрофотометры — приборы, регистрирующие спектральное распределение энергии, исходящей от объекта. Получив СРЭ данного объекта, программное обеспечение спектрофотометров по ординатам кривых сложения стандартного наблюдателя абстрактного колориметра CIE XYZ определяет цветковые координаты. Затем при необходимости следует пересчет в другие ЦКС. Однако при помощи калиброванного монитора, белая точка которого уравнивается с белой точкой просмотрного места, возможно произвести визуальное измерение окрашенной поверхности в координатной системе данного монитора. Такое упражнение может иметь академический или дидактический интерес.

являться опорным, так как недоступен наблюдателю и с его помощью нельзя осветить что-либо, поскольку световой поток полностью перекрыт жидкокристаллическими «затворами» (подробнее см. главу «Передняя панель дисплея (OSD) и ее настройки»). Поэтому колориметрически видеосистема, оснащенная LCD-дисплеем, принципиально не отличается от видеосистемы с CRT-дисплеем.

Второе требование, предъявляемое к трехстимульному колориметру, мониторами также выполняется.

**3. Энергетическая вариабельность — энергетическая интенсивность кардинальных стимулов должна быть изменяема в определенном необходимом диапазоне. При этом СРЭ кардинального стимула должно изменяться пропорционально по всему протяжению видимого спектра.**

Интенсивность кардинальных стимулов монитора меняется в зависимости от потенциала, приложенного к каналам, то есть в конечном счете в зависимости от значения в файле изображения. Спектральное распределение энергии кардинальных стимулов меняется более или менее пропорционально (рис. 11, 12).

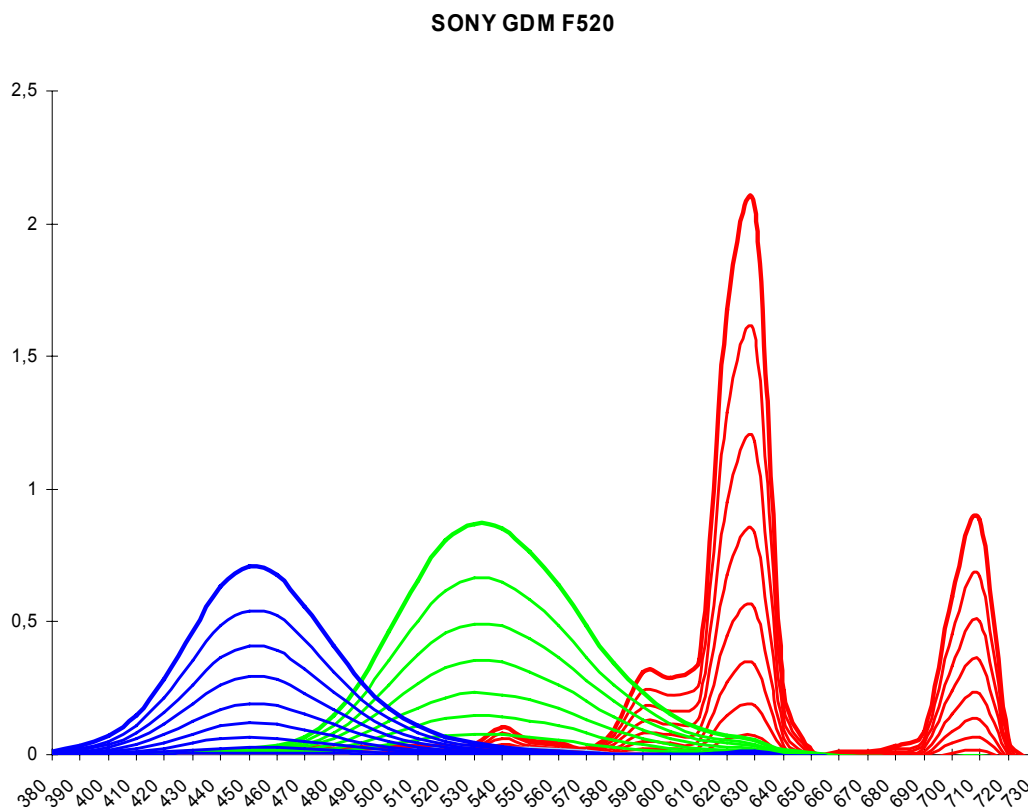


Рис. 11. Кривые спектрального распределения энергии кардинальных стимулов монитора с CRT-дисплеем SONY GDM F520 в полном диапазоне интенсивностей с шагом 12%.

### LCD Sony SDM-N80

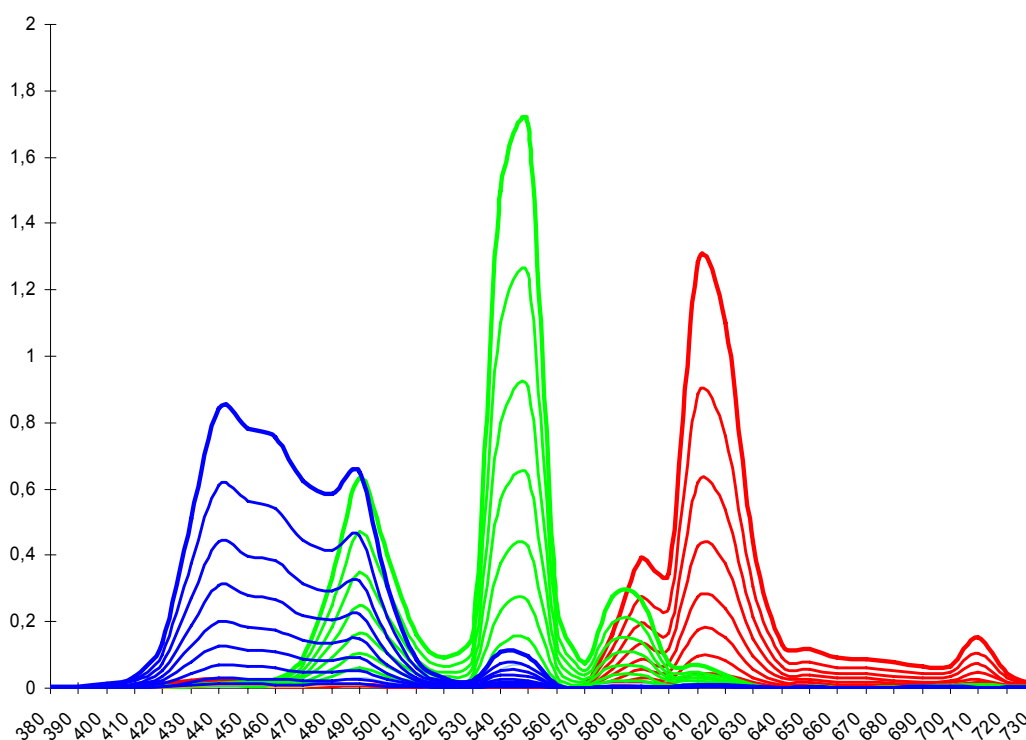


Рис. 12. Кривые спектрального распределения энергии кардинальных стимулов монитора с LCD-дисплеем SONY SDM-N80 в полном диапазоне интенсивностей с шагом 12%.

Пропорциональное изменение кривой спектрального распределения при изменении интенсивности кардинальных стимулов обеспечивает постоянство их цветового тона (Hue) (при меняющихся светлоте и насыщенности), и таким образом, мы можем говорить о *хроматической стабильности* кардинальных стимулов монитора.

Третье требование, предъявляемое к трехстимульному колориметру, мониторами в целом выполняется.

#### **4. Независимость управления энергетической интенсивностью кардинальных стимулов — изменение интенсивности одного кардинального стимула не должно приводить к изменению интенсивности двух других.**

Данное требование выполняется не полностью: неидеально сфокусированный луч, идущий от катодной пушки, часто задевает соседние субпиксели, приводя последние к т.н. паразитному свечению. Даже высококлассные мониторы не лишены эффекта паразитной подсветки люминофоров. Однако незначительная подсветка соседних субпикселей не приводит к выраженным искажениям в цветопроизведении, поэтому в целом можно говорить о том, что монитор удовлетворяет требованию независимости управления энергетической интенсивностью стимулов. Чем выше качество монитора, тем лучше сфокусирован луч, тем точнее он попадает в нужное место и тем больше удовлетворяет монитор требованию независимости управления интенсивностью кардинальных стимулов.

**Примечание:**



Существенное влияние на «поведение» луча, а следовательно, на независимость управления кардинальными стимулами монитора оказывает качество и состояние информационного кабеля, соединяющего видеокарту с дисплеем. В колориметрической настройке монитора нельзя пренебрегать состоянием информационного кабеля — он должен быть максимально высокого качества и исправен.

Четвертое требование, предъявляемое к трехстимульному колориметру, мониторами в целом выполняется.

**5. Временная стабильность — характер стимулов не должен меняться со временем.**

Характер кардинальных стимулов монитора неизменен в течение достаточно длительного промежутка времени работы. Тем не менее требуется регулярная проверка и внесение изменений в параметры настройки монитора, о чем рассказано в главе «Патронаж колориметрически настроенных мониторов».

Пятое требование, предъявляемое к трехстимульному колориметру, мониторами в целом выполняется.

\* \* \*

Таким образом, с некоторыми оговорками монитор можно считать трехстимульным визуальным колориметром. Следовательно, к мониторам применимы все те математические расчеты, которые используются для визуальных трехстимульных колориметров. Такой монитор-колориметр имеет свою собственную цветовую координатную систему, поэтому:

**Если известны цветовые координаты стимула, заданные в ЦКС какого-либо колориметра (в компьютерных системах — это, как правило, RGB-данные абстрактных колориметров или вычисленные XYZ-координаты), мы всегда сможем пересчитать их в цветовые координаты ЦКС монитора (аппаратные значения RGB) и получить требуемый цветовой стимул на экране.**

Фактически монитор представляет собой не единичный колориметр, а совокупность большого количества колориметров, число которых равно числу физических пикселей экрана.

Каждая тройка субпикселей (то есть физический пиксел) электронно-лучевой трубки (TFT-панели) фактически представляет собой визир колориметра, а их общая сумма — поверхность экрана.

В идеале все эти колориметры должны иметь строго одинаковые параметры. На практике это требование полностью удовлетворить невозможно. Поэтому качество дисплея определяется еще и тем, насколько он отвечает данному требованию.

В дальнейшем мы будем говорить о мониторе как о единичном колориметре, подразумевая, что вся совокупность колориметров (пикселей), образующих монитор, имеет одинаковые колориметрические параметры.

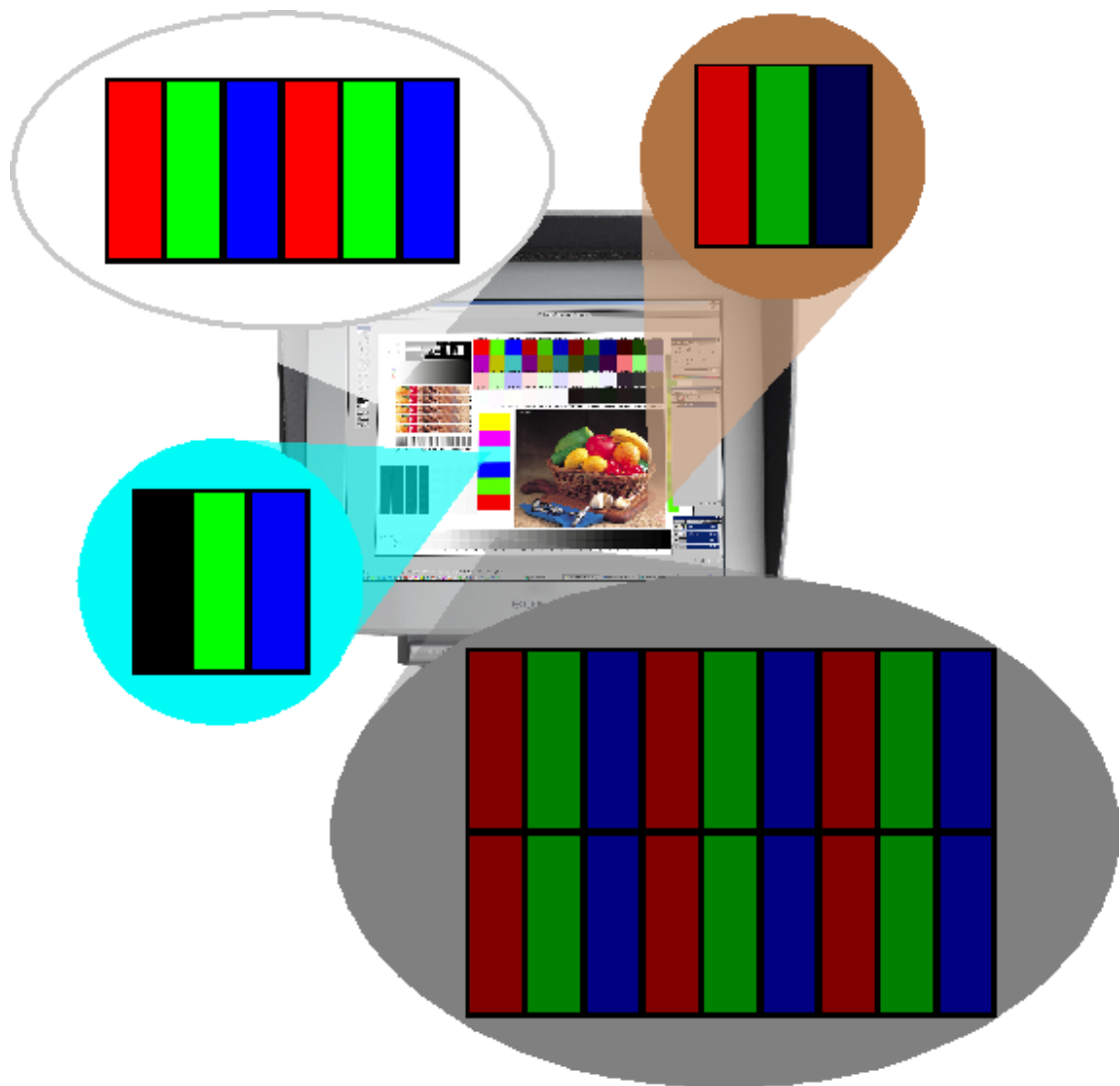


Рис. 13. Показаны тройки и группы троек субпикселей монитора, воспроизводящие разные цвета. Фоновая заливка овалов демонстрирует воспроизводимый цвет.

Как было показано выше, шкала измерений трехстимульного визуального колориметра CIE RGB (колориметра Гилда) энергетически линейна, вследствие чего энергетически линейна и шкала измерений абстрактного колориметра CIE XYZ, который, напомним, является линейным математическим производным колориметра CIE RGB. Однако «шкала измерений» монитора-колориметра энергетически нелинейна по ряду причин, о которых мы будем говорить в следующей главе. Поэтому невозможно непосредственно написать матрицу перехода между колориметром XYZ и монитором, так как матричные преобразования применимы только к уравнениям с линейными коэффициентами.

В следующих главах нам предстоит разобраться в том, чем вызвана энергетическая нелинейность монитора-колориметра, а также в том, как выполняется требуемый матричный пересчет.

## Нелинейность монитора-колориметра

Классический трехстимульный визуальный колориметр энергетически линеен во всех своих составляющих. С монитором-колориметром дело обстоит совершенно иначе: он энергетически нелинеен, и истоки его нелинейности придется искать в истории развития компьютерных технологий.

Мы знаем, что электронно-лучевые трубки телевизоров и дисплеев энергетически нелинейны. Физические принципы, лежащие в основе их работы, задают соотношение между напряжением входного сигнала и интенсивностью свечения люминофора как нелинейную функцию, близкую к степенной.

$$I = kV^\gamma$$

где:  $I$  — интенсивность свечения люминофора;  $V$  — напряжение на катодных пушках;  $k$  — линейный коэффициент.

Степень данной функции, обозначаемую греческой буквой «гамма», принято называть «гаммой нелинейности кинескопа» или «нативной гаммой» (Native gamma). Как правило,  $\gamma=2,2-2,6$ .

Для того чтобы компенсировать нелинейность кинескопа, можно было бы внести необходимое предискажение сигнала в видеоадаптер компьютера, что сделало бы систему видеоадаптер-монитор энергетически линейной. Однако вычислительные мощности персональных ЭВМ того времени позволяли кодировать яркости только в 8-битном представлении (256 уровней). Но восьмибитное энергетически-линейное попиксельное кодирование яркостей объектов изображения операционной системой<sup>10</sup> — т.н. «линейное кодирование» информации о возможных яркостях пикселей — приводит к неприемлемым потерям в качестве изображений.

**Потери качества связаны с тем, что изменение интенсивности ощущения светлоты нелинейно зависит от изменения энергетической интенсивности стимула, вызывающего это ощущение.**

Нелинейность восприятия яркостей объектов не является недостатком зрительной системы человека — наоборот, она является эволюционно-отточенной приспособительной реакцией, обеспечивающей эффективное распознавание деталей теневых объектов: в тенях, как правило, кроется опасность, и в тенях же, как правило, скрываются от опасности животные, пригодные в пищу. Подобная нелинейность восприятия — свойство всех сенсорных систем человека, но **форма кривой нелинейности различна для различных органов чувств**<sup>11</sup>.

В целом отклонение от линейности при восприятии энергетических яркостей можно объяснить эффектом т.н. *латерального торможения зрительных нейронов*. Эффект латерального («соседского») торможения нейронов — это общефизиологическое свойство сенсорных систем человека, в том числе его органа зрения. Если бы эффекта латерального торможения нейронов не было, то график зависимости ощущений светлоты от энергетической интенсивности стимулов представлял бы собой прямую линию, а диапазон

<sup>10</sup> Попиксельное кодирование яркостей объектов изображения операционной системой (кодирование информации о яркости пикселей) — это процесс, при котором некоему диапазону энергетических яркостей объекта ставится в соответствие определенный диапазон чисел. При восьмибитном представлении таких чисел 256 (255+0).

<sup>11</sup> Вопреки широко распространенному мнению, нелинейность восприятия яркостей зрением человека не описывается законом Бугера-Вебера-Фехнера.

воспринимаемых энергетических яркостей был бы очень узким и не соответствовал бы жизненным потребностям.

В нелинейность восприятия высоких яркостей (при данной точке адаптации по белому) определенную лепту вносит также временная задержка, необходимая для восстановления молекул родопсина колбочек.

Выявлением соотношения между ощущением светлоты и интенсивностью стимулов в течение многих десятилетий занимались такие ученые, как Бугер, Вебер, Фехнер, Гельмгольц и др., а также специалисты СТЕ (Д.Б. Джадд). Результатом этих исследований явилась формула, предложенная Д.Б. Джаддом (т.н. «полином Джадда»).

$$Y = 1,2219L - 0,23111L^2 + 0,23951L^3 - 0,021009L^4 + 0,0008404L^5$$

где: Y — энергетическая яркость стимула; L — ощущение светлоты.

Особенность формулы состоит в том, что аналитически выразить зависимость L от Y невозможно, поскольку полиномы степени 5 (и выше) неразрешимы в радикалах, согласно теореме Абеля.

Сегодня общепринятым аналитическим выражением зависимости L от Y (используется в расчетах СТЕ), позволяющим выполнять аналитические преобразования, является следующая зависимость:

Для  $L < 8$

$$L = \frac{24389}{27} Y \quad (1)$$

Для  $L > 8$

$$L = 116Y^{\frac{1}{3}} - 16 \quad (2)$$

где L — ощущение светлоты; Y — энергетическая яркость.

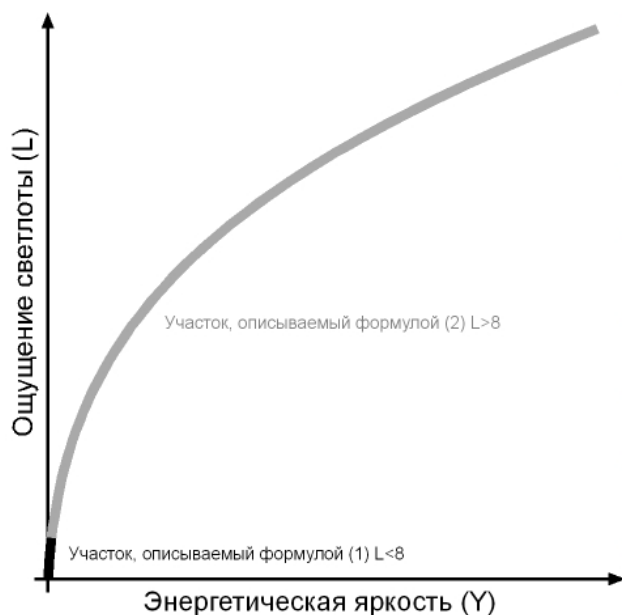


Рис. 14. Зависимость ощущения светлоты (L) от энергетической яркости (Y).

Нелинейность восприятия яркостей приводит к тому, что энергетически линейный градиент будет восприниматься осветленным, и в первую очередь — в тенях, а точка, воспринимаемая как средне-серая, окажется резко смещенной в сторону черного поля (рис. 15, а).

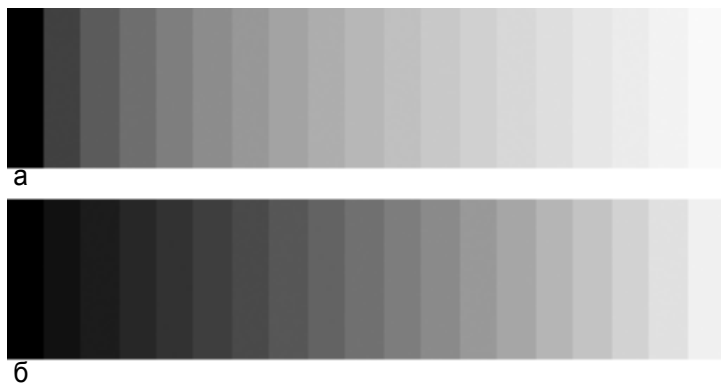


Рис. 15, а) — так выглядит энергетически-линейный градиент (20 градаций + максимальная — белый фон); б) — для сравнения: градиент линейный по ощущению светлоты (энергетически-нелинейный).

Но вернемся к кодированию яркостей и для простоты изложения будем пока вести рассуждения на примере серых полутоновых изображений.

Если восьмибитное кодирование (дискретизацию) яркостей выполнить энергетически линейно, то есть так, чтобы уровни энергетической яркости по всему диапазону отличались друг от друга на одну и ту же величину, то количество уровней, которое придется на ту часть диапазона яркостей, которая воспринимается как тени, будет меньше, чем количество градаций светлоты, которое может различить человек в этой части диапазона. И это несмотря на то, что общее количество градаций светлоты, различаемых человеком, около 128, то есть примерно вдвое меньше, чем общее количество энергетических уровней (256). В то же время в светах будет наблюдаться обратная картина: количество уровней дискретизации будет

неоправданно большим: гораздо большим, чем количество градаций, которое может различить человек (рис. 16).

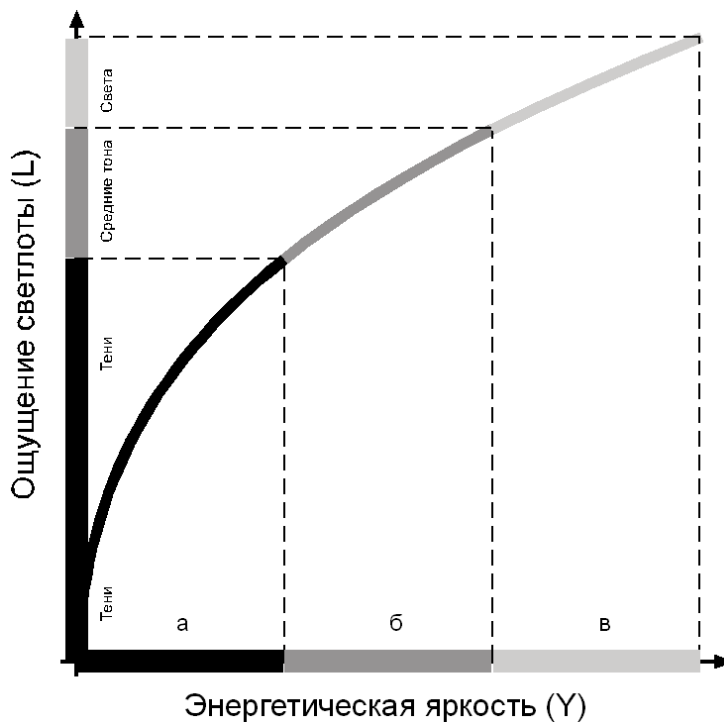


Рис. 16. Отрезок «а» меньше, чем отрезок «тени», — недостаток значений. Отрезок «б» более или менее равен отрезку «средние тона» — относительно равное соотношение. Отрезок «в» больше, чем отрезок «света», — избыток значений.

Таким образом, при восьмибитном линейном кодировании полутонового изображения, с одной стороны, невозможно сохранить информацию о всех деталях, которые человек различает в тенях, а с другой стороны — часть значений, приходящихся на света, оказывается избыточной, так как различия между этими значениями не будут востребованы.

Выходом из создавшегося положения стала *нелинейная дискретизация (нелинейное кодирование) информации о яркостях*. При нелинейной восьмибитной дискретизации отличие одного уровня энергии от другого не является постоянной величиной, то есть шаг дискретизации подчиняется некоторой выбранной зависимости, которая во избежание потерь визуальной информации должна приближать распределение уровней энергетической яркости к функции восприятия яркостей человеком. Введение при кодировании такой нелинейной зависимости называют *предыскажением*.

Для удобства решения технических задач в качестве функции предыскажения выбрали степенную зависимость вида  $y = x^{\frac{1}{\gamma}}$ . Величину  $\gamma$  принято называть «гамма-предыскажения». На платформе РС была принята величина гаммы-предыскажения 2,2 ( $1/2,2=0,45$ ), а на платформе Mac — 1,8 ( $1/1,8=0,55$ ). Графики обеих функций в сравнении с графиком нелинейности восприятия яркостей показаны на рис. 17.

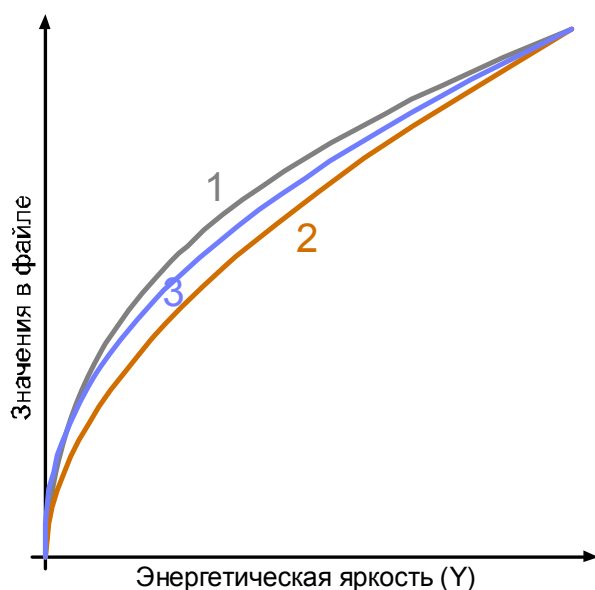
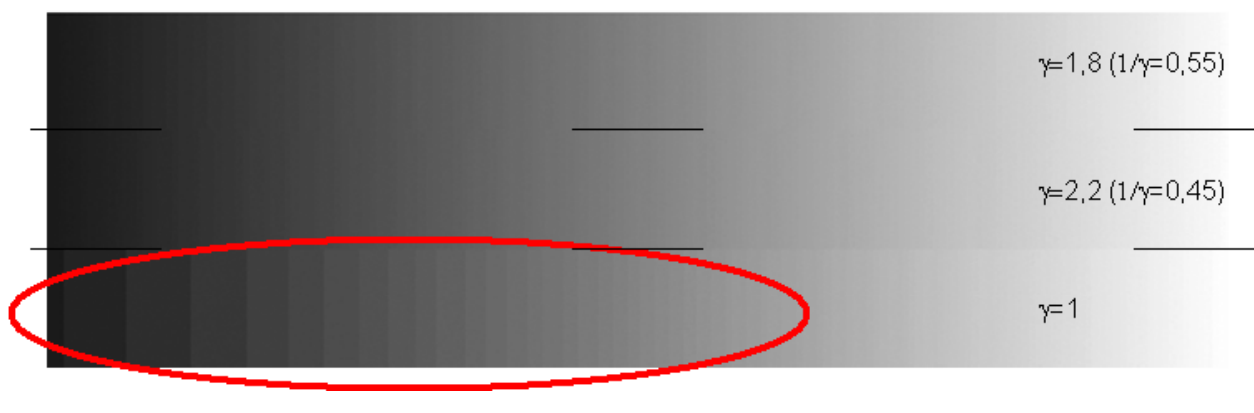


Рис. 17. 1 — кривая нелинейности восприятия яркостей зрением человека; 2 —  $\gamma=1/1,8$ ; 3 —  $\gamma=1/2,2$ .

И первый, и второй варианты предсказания несколько отличаются от функции нелинейности световосприятия, но распределение яркостей в обоих случаях не приводит к столь ощутимым потерям градаций, как при линейной восьмибитной дискретизации (рис. 18)<sup>12</sup>.



<sup>12</sup> Предположим, что в изображении присутствуют объекты с диапазоном яркостей от 0 до 255 Cd/m<sup>2</sup> (что примерно соответствует яркости белой поверхности при освещенности 4750lux — солнце в дымке). При линейном кодировании яркостей изменение яркости на 1 Cd/m<sup>2</sup> будет соответствовать изменению значения в файле на 1. В этом случае мы говорим, что шаг дискретизации постоянен и равен единице (1 ΔCd/m<sup>2</sup>).

При нелинейной восьмибитной дискретизации с гамма 2,2 шаг дискретизации в глубоких тенях очень мал и нарастает очень плавно. К примеру, изменение значения в файле с 5 на 6 будет соответствовать изменению яркости всего лишь на 0,02204 Cd/m<sup>2</sup>, что примерно в 45 раз меньше единицы. В то же время изменение значения в файле с 230 на 231 будет соответствовать изменению яркости на 1,94886 Cd/m<sup>2</sup>, что больше единицы почти вдвое. Только в середине диапазона шаг дискретизации близок к единице. Из сказанного выше понятно, что в системах, где информация о яркостях кодируется в 16 разрядах чисел (65536 значений на диапазон) и выше, необходимость в нелинейном предсказании отпадает. К примеру, изменение яркости на 1 Cd/m<sup>2</sup> (из выбранного нами диапазона 0-255 Cd/m<sup>2</sup>) при 16-битном энергетически линейном кодировании будет описано 257 числами, то есть шаг дискретизации составит примерно 0,0039 ΔCd/m<sup>2</sup>. На некоторых компьютерных платформах, к примеру таких, как Silicon Graphics, где разрядность дискретизации составляет 16 бит и выше, предсказание не вводится, так как в нем нет необходимости.

Рис. 18. Красным обведен теновой участок, на котором хорошо видны потери градаций при восьмибитном линейном кодировании.

Итак, гамма-предыскажение было положено в основу работы всех систем восьмибитного кодирования яркостей, что позволило сохранять максимум визуальной информации об объекте. Любые энергетически-линейные значения должны были подвергаться гамма-предыскажению. К примеру, при сканировании предыскажение сигнала осуществлялось аппаратно, то есть на аналоговой стадии процесса за счет работы электрических схем<sup>13</sup>.

При *создании* 8-битного изображения с помощью графической программы (например, векторного редактора) кодирование также осуществлялось (и осуществляется сегодня) с гамма-предыскажением.

Однако информация, искаженная при кодировании, не могла быть достоверно визуализирована линейной видеосистемой — изображение при визуализации оказалось бы слишком светлым. Необходимо было компенсировать внесенное предыскажение.

Выход из положения оказался очень прост, и в целом он был известен заранее из опыта работы телевидения: воспользовались изначальной нелинейностью кинескопа, о которой мы говорили в начале данной главы. На платформе РС она удачно компенсировала гамма-предыскажение, вносимое при кодировании (2,2). Несмотря на то, что идеальной компенсации предыскажения все-таки не происходило (гамма монитора оказывалась больше, чем гамма предыскажения), до поры не стали предпринимать каких-либо дополнительных действий, так как разница со средней нелинейностью кинескопов составляла десятые доли гамма.

На компьютерной платформе Macintosh (гамма предыскажения 1,8) расхождение было существенным. Потребовалось внести дополнительный технологический узел в схему видеоадаптеров, частично компенсирующий нелинейность кинескопов и доводящий результирующую степень нелинейности системы видеокарта-монитор до  $\gamma=1,8$ .

Результирующую степень нелинейности системы видеокарта-монитор принято называть «*гаммой компенсации предыскажения*» или кратко «*гамма-компенсации*». На платформе РС видеокарта не участвовала в этом процессе, а гамма-компенсация осуществлялась только за счет изначальной гаммы дисплея.

В целом задача более или менее достоверного отображения серых полутоновых изображений на экранах компьютерных дисплеев разных платформ была решена. Понятно, что чем ближе нелинейность видеосистемы к степенной функции и чем ближе величина гамма компенсации к гамме предыскажения, тем ближе общая система к линейной и тем точнее воспроизведение тонов кодированного изображения на экране дисплея.

При восьмибитном RGB-кодировании информации о цвете гамма-предыскажение вносится в каждый канал. Впоследствии каждый канал подвергается гамма-компенсации. Таким образом, **система видеокарта — дисплей представляет собой трехстимульный визуальный колориметр с энергетически-нелинейными шкалами отсчета.**

До появления систем управления цветовоспроизведением (CMS) было принято положение, что любой реальный монитор-колориметр по своим параметрам должен строго соответствовать колориметру, принятому в качестве стандартного на данной компьютерной платформе. Кардинальные стимулы стандартных платформенных колориметров в системе абстрактного колориметра XYZ имеют значения цветовых координат, равные усредненным

---

<sup>13</sup> Сегодня гамма-предыскажение при сканировании осуществляется чаще всего программно, то есть при конверсии программным обеспечением современных сканеров (или цифровых фотокамер) их первичных линейных 12-14-разрядных данных в 8-битовое представление.



значениям цветовых координат люминофоров большого числа дисплеев Apple и большого числа дисплеев IBM PC.

На платформе Macintosh таким стандартизированным колориметром был принят условный колориметр Apple RGB, а на платформе PC — колориметр sRGB (который, кстати, являлся телевизионным стандартом еще с 1961 г). Таким образом, **RGB-значения в файле изображения являлись цветовыми координатами в координатной системе стандартного колориметра данной платформы и без каких-либо изменений подавались на вход видеокарты.** Гамма-предыскажение, заложенное в файл, аналоговым путем устранялось гамма-компенсацией видеосистемы, что в итоге обеспечивало энергетически-линейное воспроизведение яркостей (рис. 19).



Рис. 19. Общая схема, иллюстрирующая процессы гамма-предыскажения и гамма-компенсации. Результатом является линейная передача яркостей объектов сцены пикселями дисплея.

Из сказанного ясно, что качество цветовоспроизведения в первую очередь зависело от того, насколько точно кардинальные стимулы, опорный белый свет и гамма-компенсация видеосистемы соответствовали принятым стандартам (см. табл.).

Абстрактный колориметр	Цветовые координаты кардинальных стимулов в системе CIE XYZ	Цветовые координаты опорного белого света в системе CIE XYZ	Гамма предыскажения
Apple RGB	$R = 0,45X + 0,245Y + 0,0252Z$ $G = 0,316X + 0,672Y + 0,141Z$ $B = 0,184X + 0,0833Y + 0,922Z$	$W = 0,95045X + 1Y + 1,08905Z$ (6500°K)	1,8
sRGB	$R = 0,412X + 0,213Y + 0,0193Z$ $G = 0,358X + 0,715Y + 0,119Z$ $B = 0,18X + 0,0722Y + 0,95Z$	$W = 0,95045X + 1Y + 1,08905Z$ (6500°K)	2,2

Компьютеры Apple изначально создавались для решения графических задач, и компания строго следила за качеством своих видеосистем, то есть за их соответствием платформенному стандарту. На платформе PC (IBM) данной проблеме не уделялось должного внимания, и

качество цветовоспроизведения долгое время было неудовлетворительным.<sup>14</sup> Причина низкого качества цветовоспроизведения мониторами зачастую состояла в том, что дешевый дисплей являлся (и является) продуктом массового, серийного производства, при котором не приходится рассчитывать на строгое соответствие функции изменения интенсивности его (монитора) кардинальных стимулов степенной (и уж тем более на равенство степени по трем каналам).

Только в конце 90-х годов прошлого века производители графических плат стали выделять в памяти видеоадаптеров дополнительную управляемую область, именуемую LUT (Look Up Table). LUT состоит из трех каналов и позволяет вносить коррекцию в функцию изменения интенсивности каждого из кардинальных стимулов монитора-колориметра, приводя ее к степенной (с желаемым значением степени). Расчет значений, которые необходимо ввести в каналы LUT, производит специальное программное обеспечение, речь о котором пойдет ниже. Таким образом, LUT — это последняя инстанция на пути к цифро-аналоговому преобразованию и выходу сигнала на дисплей.

**Примечание:**

Т.н. «цифровые» дисплеи могут воспринимать как аналоговый, так и цифровой сигналы видеокарты и имеют собственный LUT-модуль, управление которым осуществляется при помощи программного обеспечения данного дисплея. Результирующая двойная LUT-коррекция гаммы монитора позволяет добиваться результатов очень высокого качества.

## Принцип работы CMS с монитором

Выше мы рассмотрели схему визуализации файлов, использовавшуюся в период становления графических систем. В современных DTP-системах за достоверность визуализации файлов изображения отвечает Color Management System (CMS). Именно на нее возложена обязанность расчета цветовых координат для монитора-колориметра.

В современной ситуации, когда вычислительные мощности достаточны даже для преобразований 16-битной информации о цвете (не говоря уже о восьмибитной), у нас есть возможность достаточно точного расчета значений удельных коэффициентов для кардинальных стимулов конкретного монитора-колориметра с целью достоверного воспроизведения цветового ощущения, информация о котором заложена в файл изображения.

Помимо Apple RGB и sRGB, сегодня существует большое количество разнообразных абстрактных колориметров (Adobe RGB, WideGamut RGB, ProPhoto RGB и т.д.), в данных которых может быть представлена в файле информация о цветовых ощущениях. Для визуализации таких файлов необходимо выполнить матричные преобразования из цветовых координат какого-либо абстрактного колориметра, в которых представлено изображение в файле, в цветовые координаты монитора-колориметра.

Как сказано выше (в главе «Монитор как трехстимульный визуальный колориметр»), для того чтобы составить матрицу перехода между двумя колориметрами, необходимо выразить кардинальные стимулы одного колориметра в координатной системе другого колориметра. Однако выполнить визуальное измерение кардинальных стимулов абстрактного колориметра с помощью монитора-колориметра невозможно, и, следовательно, невозможно

---

<sup>14</sup> Сегодня, когда для визуализации файлов применяется CMS, различия в качестве цветовоспроизведения между двумя платформами не существует. Однако до сих пор жив стереотип о предпочтительности использования компьютеров Macintosh для решения графических задач.

непосредственно связать их. Но если известны CIE XYZ-координаты кардинальных стимулов обоих колориметров (и абстрактного, и реального), то связь между колориметрами осуществима и можно построить матрицу перехода.

В то же время мы помним, что матричные преобразования выполнимы только для систем линейных уравнений, тогда как данные абстрактных и реальных мониторов-колориметров чаще всего нелинейны (по уже известным причинам). Поэтому схема расчета значений, которые подаются на видеокарту для визуализации файла изображения, должна выглядеть следующим образом:

1. Нормирование данных файла изображения — то есть переход от RGB-данных к удельным коэффициентам.
2. Гамма-компенсация предискажений — то есть энергетическая *линеаризация* данных.
3. Составление и решение уравнения матричного перехода.
4. Введение необходимого гамма-предискажения.
5. Ренормировка данных и отправка окончательных значений на видеокарту.

Проиллюстрируем сказанное на примере визуализации видеосистемой Matrox P650+ дисплей SONY GDM F520 (для краткости будем называть ее «монитор SONY») пиксела изображения, информация о цвете которого записана в RGB-данных абстрактного колориметра Adobe RGB. Наша задача — выполнить пересчет в RGB-данные монитора SONY.

1. Нормируем 8-битные значения в файле ( $R_{Adobe}, G_{Adobe}, B_{Adobe}$ ), разделив каждое на 255 и получив коэффициенты  $r_{\gamma, Adobe}, g_{\gamma, Adobe}, b_{\gamma, Adobe}$ .  
Индекс  $\gamma$  указывает на наличие гамма-предискажения.

2. Выполним гамма-компенсацию предискажения (линеаризацию), возведя коэффициенты  $r_{\gamma, Adobe}, g_{\gamma, Adobe}, b_{\gamma, Adobe}$  в степень, равную степени предискажения:

$$r_{\gamma, Adobe}^{\gamma} R_{Adobe} + g_{\gamma, Adobe}^{\gamma} G_{Adobe} + b_{\gamma, Adobe}^{\gamma} B_{Adobe} \equiv r_{Adobe} R_{Adobe} + g_{Adobe} G_{Adobe} + b_{Adobe} B_{Adobe}$$

где прописные литеры курсивного начертания обозначают кардинальные стимулы колориметра.

3. Кардинальные стимулы колориметров Adobe RGB и SONY задаются уравнениями (1) и (2):

$$\begin{aligned} R_{Adobe} &= \varsigma_{11}X + \varsigma_{12}Y + \varsigma_{13}Z & R_{SONY} &= \rho_{11}X + \rho_{12}Y + \rho_{13}Z \\ G_{Adobe} &= \varsigma_{21}X + \varsigma_{22}Y + \varsigma_{23}Z & G_{SONY} &= \rho_{21}X + \rho_{22}Y + \rho_{23}Z \\ B_{Adobe} &= \varsigma_{31}X + \varsigma_{32}Y + \varsigma_{33}Z & B_{SONY} &= \rho_{31}X + \rho_{32}Y + \rho_{33}Z \\ W_{Adobe} &= \varsigma_{41}X + \varsigma_{42}Y + \varsigma_{43}Z & W_{SONY} &= \rho_{41}X + \rho_{42}Y + \rho_{43}Z \end{aligned} \quad (1) \text{ и } (2)$$

где для системы уравнений (1):  $\varsigma_{11} \dots \varsigma_{43}$  известны из спецификации колориметра Adobe RGB, а для системы уравнений (2):  $\rho_{11} \dots \rho_{43}$  известны благодаря *измерениям* кардинальных стимулов SONY с помощью фотоэлектрического колориметра или спектрофотометра.

Проведя преобразования, описанные в главе «Монитор как трехстимульный визуальный колориметр», приходим к уравнению (3):

$$\begin{bmatrix} r_{SONY} \\ g_{SONY} \\ b_{SONY} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{Adobe} \\ g_{Adobe} \\ b_{Adobe} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \zeta_{11} & \zeta_{12} & \zeta_{13} \\ \zeta_{21} & \zeta_{22} & \zeta_{23} \\ \zeta_{31} & \zeta_{32} & \zeta_{33} \\ \rho_{11} & \rho_{12} & \rho_{13} \\ \rho_{21} & \rho_{22} & \rho_{23} \\ \rho_{31} & \rho_{32} & \rho_{33} \end{bmatrix} \quad (3)$$

**Полученное выражение является уравнением перехода от удельных коэффициентов условного абстрактного колориметра к удельным коэффициентам реального монитора-колориметра.**

4. После решения уравнения (3) остается выполнить предсказание данных, возведя линейные значения  $r_{SONY}, g_{SONY}, b_{SONY}$  в степень  $\frac{1}{\gamma}$ .

$$r_{SONY}^{\frac{1}{\gamma}} R_{SONY} + g_{SONY}^{\frac{1}{\gamma}} G_{SONY} + b_{SONY}^{\frac{1}{\gamma}} B_{SONY} \equiv r_{\gamma,SONY} R_{SONY} + g_{\gamma,SONY} G_{SONY} + b_{\gamma,SONY} B_{SONY}$$

Очевидно то, что при CMS-визуализации совершенно необязательно, чтобы гаммы-предсказания обоих колориметров были одинаковыми. Более того, нет даже необходимости в том, чтобы в каждом из колориметров поканальные гаммы были равны между собой.

**Главное, чтобы кривая нелинейности монитора по трем каналам соответствовала степенной функции и чтобы все значения гамма для обоих колориметров были достоверно известны.**

**Примечание:**

Вообще говоря, необязательно, чтобы предсказание отвечало степенной функции. Теоретически функция может быть любой: необходимо только, чтобы она описывалась аналитически.

5. Последний этап: ренормировка данных — умножение полученных коэффициентов  $r_{\gamma,SONY}, g_{\gamma,SONY}, b_{\gamma,SONY}$  на 255 и получение искоемых значений  $R_{SONY}, G_{SONY}, B_{SONY}$ .

Привычным упрощенным выражением такого перехода является запись:

$$R_{Adobe} G_{Adobe} B_{Adobe} \longrightarrow XYZ \longrightarrow R_{SONY} G_{SONY} B_{SONY},$$

но она не совсем корректна, так как вопреки распространенному мнению координаты XYZ для пикселей изображения не вычисляются, что видно из формулы (3). CIE XYZ используется только в качестве математического пространства связи между колориметрами. С нашей точки зрения, более правильной является запись:

$$R_{Adobe} G_{Adobe} B_{Adobe} \xrightarrow{XYZ} R_{SONY} G_{SONY} B_{SONY}$$

Мы рассмотрели способ вычисления RGB-аппаратных данных (цветовых координат) монитора, когда значения в файле изображения представлены в координатах абстрактных (или реальных) трехстимульных колориметров. Однако достаточно часто значения в файле представляют собой L\*a\*b\*-координаты или аппаратные данные устройств, не являющихся трехстимульными колориметрами (RGB-output-данные, CMYK-данные и др.). В этих случаях применяется следующая схема:

1. Определение по профайлу устройства L\*a\*b\*-координат, соответствующих данным в файле изображения.

**Примечание:**

В случае, если в файл изображения непосредственно записаны L\*a\*b\*-координаты, данный пункт отсутствует в схеме визуализации.

2. Пересчет по формулам взаимно однозначного соответствия L\*a\*b\*-координат в удельные коэффициенты CIE XYZ.

3. Пересчет удельных коэффициентов CIE XYZ по стандартным колориметрическим матрицам в удельные коэффициенты монитора-колориметра.

4. Введение предискажения по требуемой гамма.

5. Ренормировка данных и получение значений  $R_{SONY}$ ,  $G_{SONY}$ ,  $B_{SONY}$ .

**Примечание:**

Если схему работы целиком построить на основе 16-битного представления информации о цвете, то можно было бы полностью отказаться от гамма-предискажений и, соответственно, от гамма-компенсаций, что серьезно упростило бы работу CMS и позволило бы уйти от неизбежных ошибок вычислений. Такая схема, на наш взгляд, является очень перспективной, однако, ее внедрение потребовало бы колоссальной перестройки всей мировой системы Digital Publishing, что вряд ли осуществимо в ближайшее время.

\* \* \*

Итак, мы подошли к тому, чтобы определить мероприятия, превращающие систему видеокарта–монитор в управляемый и предсказуемый трехстимульный визуальный колориметр.

Первое мероприятие заключается в:

— выборе источника опорного белого света и уравнивании его с помощью кардинальных стимулов монитора-колориметра;

— выборе желаемой гамма и точной приводке к ней видеосистемы с помощью LUT видеоадаптера.

Такое мероприятие называется *калибровкой монитора (calibration)*.

Второе мероприятие заключается в:

— определении CIE XYZ-координат кардинальных стимулов монитора-колориметра;

— уточнении получившихся CIE XYZ-координат опорного белого света;

— уточнении получившихся значений гамма для каждого кардинального стимула;

— записи полученной информации в ICC-файл, то есть созданию профайла монитора-колориметра.

Такое мероприятие называется *характеризацией монитора (characterization)*.

**Таким образом, колориметрическая настройка монитора складывается из двух последовательно выполняемых операций: калибровки и характеристики.**

## Механизмы адаптации зрения. Освещение на рабочем месте

В главе «Монитор как трехстимульный визуальный колориметр» мы говорили о том, что от классического трехстимульного визуального колориметра видеосистему отличает то, что она не имеет самостоятельного источника опорного белого света, поэтому в качестве опорного мы вынуждены выбирать свет какого-либо источника.

Казалось бы: выбор опорного белого света — это первый и наиважнейший шаг в колориметрической настройке монитора как самостоятельного цветовоспроизводящего устройства. На самом деле то, какой именно «белый» свет будет выбран в качестве опорного, не имеет решающего значения. В большинстве случаев на экране монитора мы наблюдаем не отдельно взятый цветовой стимул, а **изображения**, содержащие множество разнообразных цветовых стимулов. В этих случаях, как и в повседневной жизни, зрение включает психофизиологические механизмы адаптации, в частности механизм т.н. *цветовой адаптации* (chromatic adaptation).

Наряду с другими видами адаптации зрения к меняющимся условиям наблюдения (о которых мы будем говорить ниже) цветовая адаптация обеспечивает т.н. *константность цветовосприятия* человеком. Константность цветовосприятия базируется на механизме цветовой адаптации и гарантирует достоверность информации о предметах окружающего мира в непрерывно меняющихся условиях освещения.

### **Важное примечание:**

Нужно четко понимать, что перед зрением человека стоит биологическая задача ориентирования в окружающем мире, а не физическая задача регистрации распределения электромагнитных энергий. Точная регистрация распределения электромагнитных энергий — это задача измерительных приборов. **Адаптация зрения сформировалась в процессе эволюции как механизм, который гарантирует константность идентификации объектов окружающего мира в непрерывно меняющихся условиях освещения.** Поэтому адаптация не является «зрительным обманом» или «несовершенством глаза», как часто утверждают, а, наоборот, — совершеннейшим механизмом, обеспечивающим выживание.

К примеру, букет из колокольчиков, васильков и ромашек одинаково выглядит как при дневном свете, так и при свете ламп накаливания: колокольчики остаются сине-фиолетовыми, васильки — голубыми, а ромашки — белыми с желтой сердцевинкой. Цветовые ощущения остаются неизменными, несмотря на то, что спектральный состав света, отраженного от поверхностей, изменяется радикально: благодаря цветовой адаптации мы не замечаем никаких существенных отличий в окраске листьев и цветков.

То же самое происходит, если взять два колориметрически отлаженных монитора с различным по цвету «белым» (различной цветовой температурой белой точки). Если эти два монитора не находятся одновременно в нашем поле зрения, мы, переходя от одного к другому, не увидим разницы в представлении ими одного и того же файла. В первый момент нам может показаться, что имеет место смещение общего колорита изображения, но спустя 1-2 минуты мы уже не в состоянии мысленно найти отличия, так как неизбежно происходит хроматическая адаптация.

### **Примечание:**

Цветовая температура источника света — это условная величина, указывающая на то, что цветовое ощущение, вызываемое данным источником освещения, совпадает с цветовым ощущением, которое вызвало бы планковское абсолютно черное тело, нагретое до той или иной температуры по шкале Кельвина.

Если же два монитора с разной цветовой температурой белой точки одновременно находятся в поле зрения наблюдателя, разница в изображениях будет видна все время.

Из сказанного следует, что выбор цветовой температуры опорного белого света не имеет принципиального значения и лежит в широком диапазоне значений. Критерием выбора цветовой температуры может служить цветовой охват, который у большинства мониторов максимален в районе 6500K по белой точке. При настройке монитора для тех работ, при которых предполагается сравнение изображения на экране с изображением на других носителях (скажем, с полиграфическим оттиском), выбор опорного белого света не может быть произвольным, о чем будет сказано в дальнейшем.

Подчеркнем, что все сказанное о цветовой адаптации справедливо лишь в отношении изображений, состоящих из набора цветowych стимулов, вызывающих *разнообразные* цветковые ощущения в *широком цветовом диапазоне*.

Еще один вид адаптации, влияющий на восприятие изображения, — *адаптация по контрасту*. Дело в том, что независимо от реального энергетического контраста сцены или изображения наше зрение стремится сохранить неизменным **восприятие** общего контраста, то есть обеспечить полноценный *визуальный контраст*. Обеспечение полноценного визуального контраста также эволюционно обусловлено необходимостью получить максимально возможное количество информации об окружающем мире при изменении соотношения энергетических яркостей объектов сцены.

**Примечание:**

Энергетический контраст сцены (изображения) — это разность между минимальным и максимальным уровнями световой энергии в данной сцене (изображении). Численно выражается как отношение максимального уровня энергии к минимальному или как десятичный логарифм этого отношения. Для отражающих (пропускающих) свет объектов определяется как разность между максимальной и минимальной оптическими плотностями.

В результате адаптации по контрасту самый энергетически яркий участок экрана будет приниматься нашим зрением за т.н. *точку белого*, а участок с наименьшей энергией будет приниматься за *точку черного*. Таким образом, точка белого станет опорным белым светом, задающим единицы измерения монитора-колориметра, а точка черного определит нулевые значения кардинальных стимулов, **независимо от того, какова их реальная энергетическая яркость**.

Зрение способно адаптироваться в достаточно широком диапазоне энергетических контрастов. Но этот диапазон имеет нижнюю границу. Наименьший энергетический контраст, при котором еще возможна адаптация и обеспечение полноценного визуального контраста, по данным различных исследований составляет 1:32 — 1:64, то есть 1,5D — 1,8D. Таким образом, если в результате настройки энергетический контраст монитора оказался не ниже 1,8D, то можно быть уверенным в высоком качестве визуализации содержимого графических файлов по параметру визуального контраста.

**Примечание:**

Из сказанного ясно, что не стоит акцентировать внимание на наличии определенного уровня светимости черной точки монитора и не следует пытаться минимизировать его **любой ценой**: в выборе уровня светимости черной точки нужно руководствоваться иными критериями (о них речь пойдет ниже) — желателен лишь заключительный контроль общего энергетического контраста монитора.

Высококачественный полиграфический оттиск самостоятельно выглядит контрастно, имеет полный тоновый диапазон с большим количеством градаций от белого до черного. Однако при одновременном сравнении его с тем же изображением на экране монитора он

выглядит совершенно неудовлетворительным: резко теряет контраст и тоновые градации. В то же время при одновременном сравнении данного изображения на экране с его слайд-оригиналом на ярком просмотрном месте происходит аналогичная метаморфоза — контраст изображения на мониторе и количество его тоновых градаций резко падают. В самом деле, энергетические контрасты данных изображений весьма различны: полиграфический оттиск имеет энергетический контраст порядка 1,9D, монитор порядка 2,4D, слайд — 3,4D.

Описанное изменение визуального контраста происходит только при **одновременном** сравнении изображений, имеющих разный энергетический контраст. Если рассматривать изображения последовательно и через некоторый небольшой промежуток времени, то все три изображения будут иметь одинаковый визуальный контраст и будут выглядеть одинаково хорошо.

То же касается и изображений на дисплеях: при последовательном рассматривании одного и того же изображения на экранах мониторов с разной энергетической яркостью по белой и черной точкам разницы в ощущениях не возникнет за счет адаптации зрения по контрасту. Но при одновременном рассматривании полноценным визуальным контрастом будет обладать изображение на экране того монитора, энергетический контраст которого выше.

Отправной точкой общей адаптации зрения к условиям освещения всегда является *адаптация по яркости*, или, как часто говорят, *адаптация по белому*.

**Важное примечание:**

Когда мы говорим «адаптация по белому», то имеем в виду, что некий стимул определяет не только яркостную адаптацию, но и влияет на хроматическую адаптацию. Т.е. этот стимул имеет максимальную энергетическую яркость. Бывает так, что некий узкополосный стимул (скажем, луч лазера) вызывает ощущение красного, при любом уровне энергии он будет восприниматься как красный и, соответственно, не может служить отправной точкой хроматической адаптации, однако, он определяет адаптацию яркостную. В этом случае мы не можем сказать, что по данному стимулу происходит адаптация по белому, и можем говорить только лишь о яркостной адаптации.

В большинстве же случаев, когда мы рассматриваем изображения, самый яркий участок будет задавать именно адаптацию по белому и будет называться *точкой белого*.

Энергетическая яркость точки белого, то есть объекта, имеющего максимум световой энергии в данной сцене, задает общую чувствительность зрения, или, как еще говорят, определяет уровень общей световой *сенсibilизации* зрения в данных условиях наблюдения. Чем выше уровень максимальной энергии в сцене (энергетический уровень белого), тем выше уровень энергии, принимаемой зрением за черное.

Адаптация по белому — это начальный и определяющий этап адаптации по контрасту и хроматической адаптации.

Итак, мы видим, что общая адаптация зрения к данным условиям наблюдения складывается из:

- адаптации по белому;
- адаптации по контрасту;
- хроматической адаптации.

**Примечание:**

Существуют и другие виды адаптации зрения (например, адаптация по хроматическому контрасту, локальная адаптация и т.д.), но их описание слишком усложнило бы изложение материала.

Важно отметить, что влияние объектов сцены на адаптацию зависит от их относительных размеров. Так, адаптация по белому и, соответственно, адаптация по контрасту зависят от того, какова относительная площадь самого энергетически яркого



предмета в поле зрения. Площадь такого предмета должна быть минимально необходимой для того, чтобы произошла адаптация. По некоторым данным относительная минимально необходимая площадь колеблется в пределах 1/200-1/100 от общей площади поля зрения. Все объекты, обладающие большей энергетической яркостью, но с площадью меньше необходимой, воспринимаются зрением, как блики, не влияющие на общую адаптацию.

Таким образом, общая адаптация зрения человека, работающего с изображением, определяется тем, каковы уровни световых энергий **в поле зрения** и каков их спектральный состав.

В рабочем помещении цветокорректоров находится не только дисплей, но различные предметы, которые также могут влиять на адаптацию. Если в окружении дисплея отыщется объект с большим уровнем световой энергии, чем белая точка монитора, то именно этот объект определит общую адаптацию зрения.

К примеру, если позади дисплея в поле зрения находится наглухо зашторенное окно, то отдергивание штор приведет к резкому падению контраста изображения на экране, так как появление яркого объекта большой площади (окно или световое пятно на стене от дневного света) моментально приведет как минимум к смене уровня адаптации «по яркости» и, соответственно, по контрасту (рис. 20), а скорее всего, и к смене хроматической адаптации.

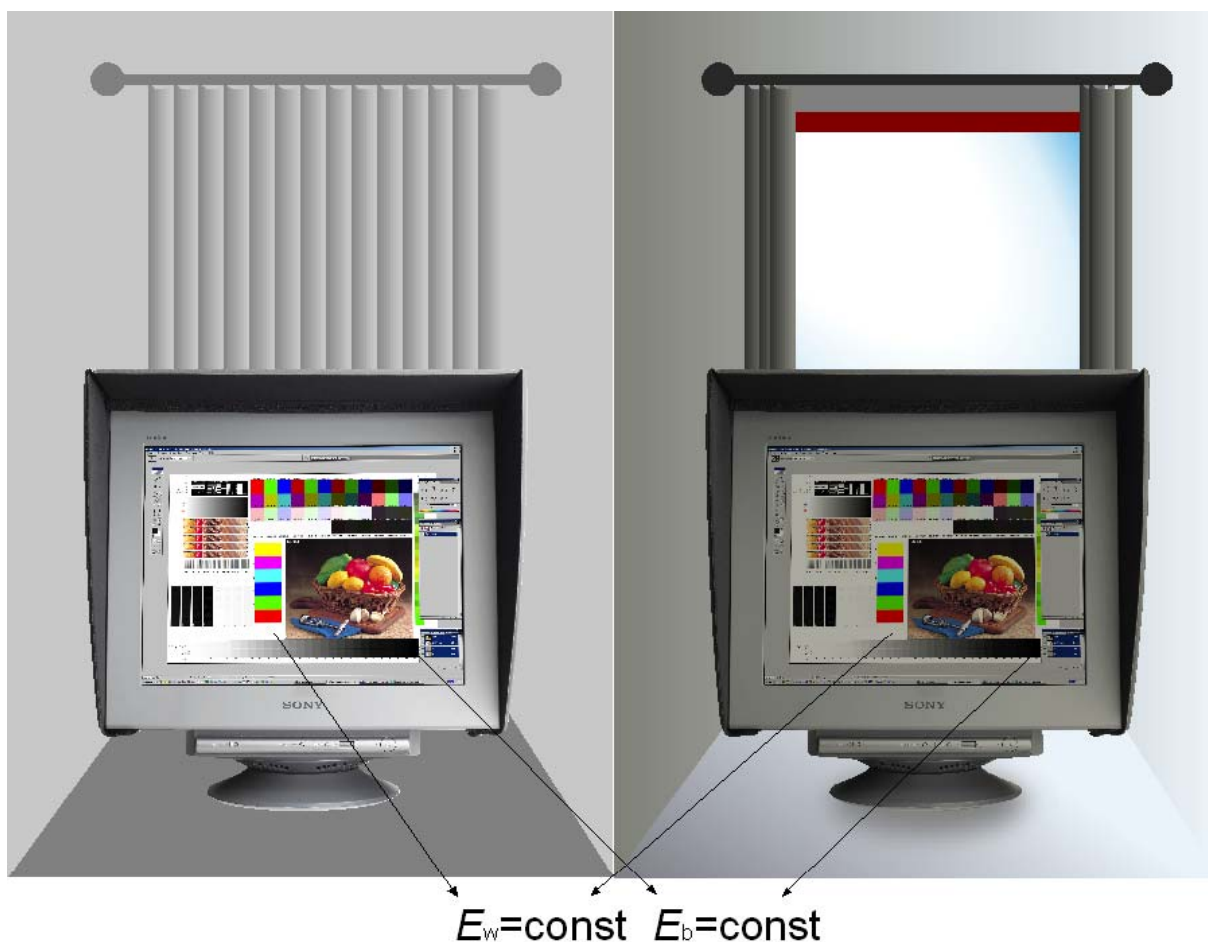


Рис. 20

Точно так же произойдет смена адаптации, если в поле зрения оператора находится крупный черный предмет, который отражает световой энергии меньше, чем излучает черная

точка монитора. Точку черного в адаптации оператора теперь определит этот предмет, а контраст изображения на экране понизится (рис. 21). Черное на экране перестанет быть черным и будет восприниматься как темно-серое.

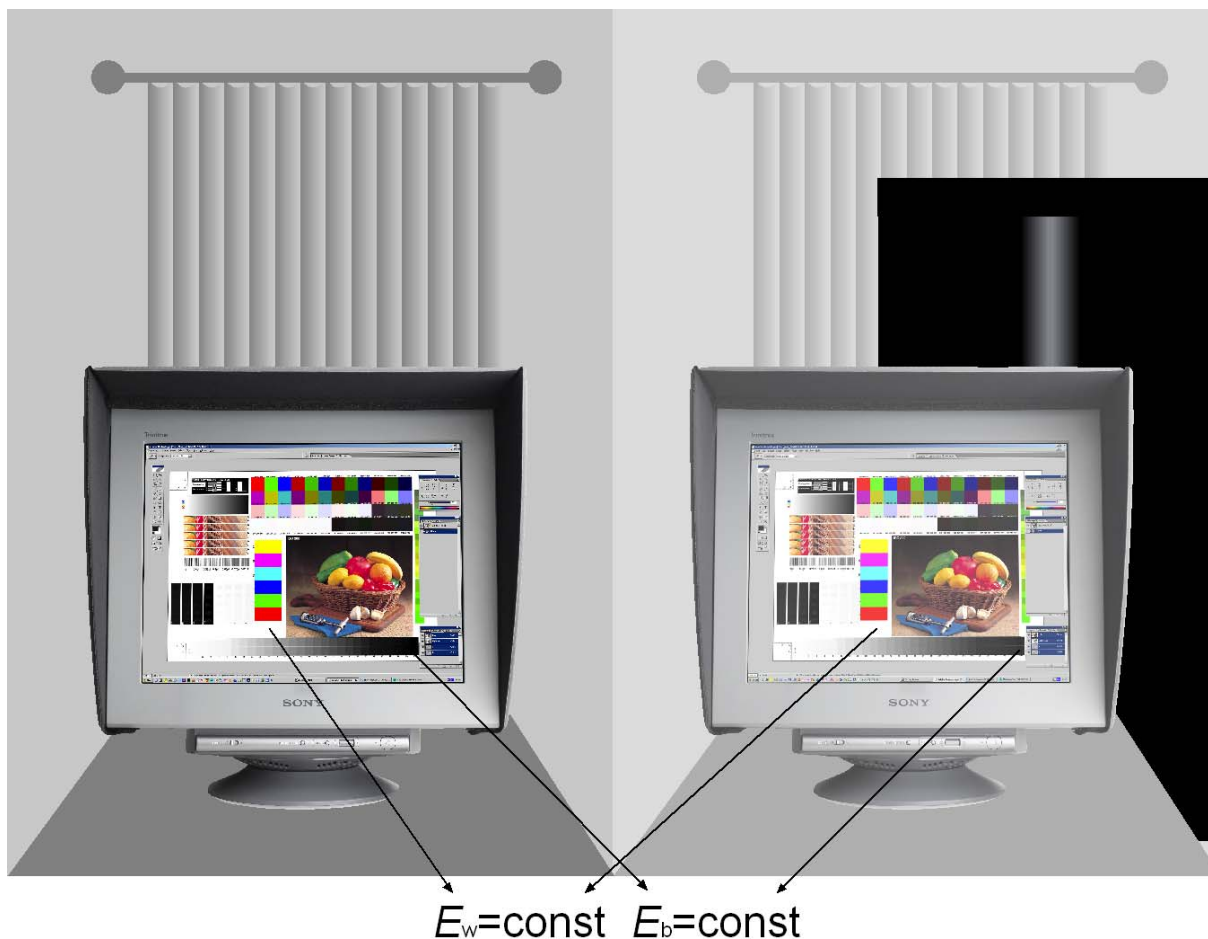
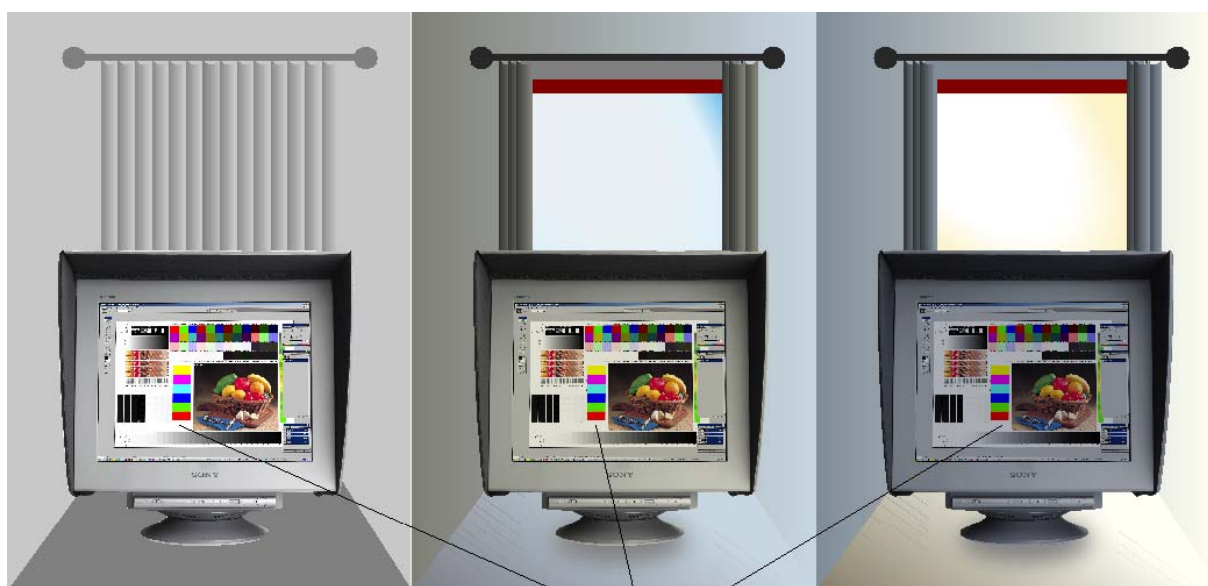


Рис. 21

Если в рабочем помещении цветокорректоров присутствует дневной свет, то адаптация будет непрерывно меняться вместе с естественными изменениями энергетической яркости и цветовой температуры дневного света. Соответственно окажется нестабильным и восприятие изображения на экране: станут меняться его колорит и контраст. Последнее неизбежно приведет к ошибкам цветокоррекции (рис. 22).



$$\alpha_1 R + \alpha_2 G + \alpha_3 B = \text{const}$$

Рис. 22

**Поэтому попытки колориметрической настройки мониторов в помещениях, где присутствует дневной свет, обречены на неудачу и лишены всякого смысла.**

Для обеспечения необходимой адаптации зрения цветокорректоров требуется выполнение следующих условий:

— *полная изоляция помещения от дневного света;*

Изоляция от дневного света не требует больших финансовых затрат и может быть осуществлена на любом предприятии. Желательно, чтобы помещение вообще не имело оконных проемов, но если окна есть, то их нужно наглухо закрыть светонепроницаемой серой (не черной) бумагой или плотной серой светонепроницаемой тканью. Установка подвижных жалюзи или штор не рекомендуется, так как требование полной светоизоляции в этом случае будет регулярно нарушаться сотрудниками.

Изоляция от внешнего освещения приводит к тому, что помещение становится непрветриваемым. Поэтому настоятельно рекомендуется установка split-кондиционера, обеспечивающего подкачку свежего воздуха, постоянство температуры и относительной влажности воздуха в комнате. Экономить средства, отказываясь от приобретения кондиционера, нельзя: это быстро приведет к ухудшению здоровья сотрудников, снижению качества их работы и перегреву оборудования.

— *энергетическая яркость белой точки монитора должна обладать максимальной световой энергией среди предметов, находящихся в поле зрения оператора;*

Из поля зрения цветокорректоров должны быть убраны любые открытые источники освещения (стандартные настольные лампы, бра и проч.), сильно бликующие предметы (полированная посуда, зеркала), предметы, покрытые люминесцентными красками. Важно, чтобы в экране дисплея не отражались светящиеся поверхности (например, другой дисплей), листы белой бумаги, светящиеся предметы. Нужно также следить за тем, чтобы сотрудники не использовали для протирки поверхности кинескопов агрессивных химических средств (этиловый спирт, эфир), которые быстро разрушают антибликовое покрытие дисплеев.

*— энергетическая яркость темных предметов в окружении дисплея должна быть больше, чем яркость черной точки монитора, то есть черная точка монитора должна обладать минимальной световой энергией в поле зрения оператора;*

В поле зрения операторов не должны находиться крупные черные предметы (одежда, мебель, оборудование), между предметами мебели и/или оборудованием не должно быть больших глубоких зазоров. К установке отбрасывающих козырьков на дисплеях нужно относиться с осторожностью: их наличие может повлечь за собой появление глубоких теней в поле зрения оператора и смещение адаптации по контрасту. Но бывают ситуации, когда козырьки необходимы.

*— в помещении не должно быть предметов с выраженной цветностью;*

На стенах и столах не должно быть картин, календарей, вырезок из журналов, разноцветных канцелярских принадлежностей и проч. По возможности персонал должен быть обеспечен нейтрально-серыми (не белыми!) халатами или по крайней мере не носить одежды с яркой расцветкой. Рабочие столы должны быть покрыты серым ламинатом.

*— фоновое освещение в помещении должно быть подобрано так, чтобы эквивалентная энергетическая яркость поверхностей в поле зрения оператора по ощущению светлоты лежала примерно посередине между белой и черной точками монитора;*

Фоновое освещение организуется так, чтобы источники света не были видны с рабочих мест операторов. Как правило, люминесцентные светильники устанавливаются на стенах в 20-30 см от потолка и закрываются снизу кожухами-отражателями, направляющими свет в потолок, что обеспечивает рассеянное освещение. Обязательным является наличие нескольких выключателей, позволяющих легко настроить необходимую освещенность, а при необходимости включить «большой» свет, например, для уборки помещения. Фоновое освещение не должно также быть слишком слабым, что приведет к образованию глубоких теней, которые могут оказаться темнее, чем черная точка монитора.

*— цветовая температура освещения в помещении должна быть равна или по крайней мере близка к цветовой температуре белой точки монитора.*

В работе полиграфических предприятий постоянно возникает необходимость в сравнении изображения на экране с его оригиналом или копией на той или иной поверхности. Очевидно, что фоновое освещение не подходит для такого сравнения и необходима организация т.н. *просмотровых мест*.

Просмотровое место — это специальный участок помещения или переносное устройство, обеспечивающие постоянные и строго контролируемые условия просмотра оригиналов изображения и оттисков. Такое место должно быть прежде всего оборудовано высококачественным и достаточно ярким источником освещения (об источниках освещения для просмотровых мест речь пойдет в следующей главе). Фон, на котором рассматриваются изображения, должен быть нейтрально-серым со светлотой (L40–60). Обязательным является наличие **высококачественного** рассеивающего отражателя и козырька, прикрывающего лампу.

Просмотровое место и монитор вместе представляют собой полноценный визуальный трехстимульный колориметр. Источник освещения просмотрового места и будет являться источником опорного белого света, который отсутствует у монитора-колориметра. Для того чтобы привести этот трехстимульный колориметр в рабочее состояние, необходимо визуально уравнять (уравнять по ощущениям) опорный белый свет и белую точку монитора, регулируя количества кардинальных стимулов (RGB) монитора-колориметра.

Когда белая точка монитора и свет просмотрового места будут уравнены, общая адаптация зрения станет единой: адаптация по белому и хроматическая адаптация идентичны, а адаптация по контрасту будет определяться точкой черного на мониторе.

Для работы трехстимульного визуального монитора-колориметра необходимы не только видеосистема в комплексе с просмотрным местом, но и специально оборудованное помещение, в котором данный комплекс находится. Покупка компьютера, высококлассной видеокарты и дисплея не означает, что можно приступать к колориметрической настройке видеосистемы. **Начинать колориметрическую настройку необходимо с грамотной организации рабочих мест цветокорректоров.**

Итак, для обеспечения эффективной и точной работы цветокорректоров необходимо размещение оборудования в т.н. *digital darkroom* — *цифровой темной комнате*, где обеспечена полная изоляция от внешнего (дневного) освещения и поддерживается определенный уровень фоновой освещенности, не вызывающий искажения общей адаптации зрения.

Существуют жесткие стандарты организации digital darkroom (цифровой темной комнаты): ISO 3664:2000 и дополнение к нему — ISO 12646.

Стандарт ISO 3664 описывает условия работы с изображениями, не предназначенными к субтрактивному тиражированию (к примеру, web-дизайн).

Стандарт ISO 12646 описывает требования к колориметрической настройке мониторов и корректирует ISO 3664 для работы с изображениями, предназначенными к субтрактивному тиражированию (полиграфия, фотодело).

	<b>ISO 3664</b>	<b>ISO 12646</b>
Эталонное освещение	CIE D50	CIE D50
D50 Color Rendering Index	90 и выше	90 и выше
D50 Metamerism Index	<4	<4
Цветовая температура окружающего освещения	5000К и ниже	5000К
Освещенность окружения	64-32 люкс (и ниже)	32 люкс (и ниже)
Proof-освещенность (освещенность просмотрных мест)	1500-2500 люкс	1500-2500 люкс
Practical-освещенность (потребительская, «бытовая» освещенность полиграфической продукции)	375-625 люкс	375-625 люкс
Внешнее освещение	Полная светоизоляция	Полная светоизоляция
Блестящие предметы	Не должны отражаться в экране дисплея	Не должны отражаться в экране дисплея
Белая точка монитора	CIE D65	CIE D50
Энергетическая яркость белой точки монитора	75-100 cd/m <sup>2</sup>	80-120 cd/m <sup>2</sup>
Окраска поверхностей окружения (стены, столы)	Нейтрально-серые. Коэффициент отражения 0,6 и ниже.	Нейтрально-серые. Коэффициент отражения 0,6 и ниже.
Эксплуатация оборудования	Регулярная проверка	Регулярная проверка

	оборудования на соответствие спецификации	оборудования на соответствие спецификации
--	---	---

Общий вид стандартной Digital darkroom показан на рис. 23.



Рис. 23. Digital Darkroom в отделе препресс флексографского предприятия «Аляска-ПОФ» (Санкт-Петербург). Полную изоляцию от дневного освещения обеспечивает светонепроницаемый алюмоламинат, закрепленный на стеклопакетах за декоративными серыми жалюзи. Background-освещение: люминесцентные лампы Philips 950, просмотрные устройства: Just-Normlicht Color Master S.

## **Источники света для просмотрных мест и фонового освещения в digital darkroom**

Для решения этой достаточно сложной задачи необходимо определить критерии выбора источника освещения на просмотрном месте, т.н. источника proof-освещения.

Поскольку человек эволюционировал при естественном (солнечном) освещении, то было бы логично предположить, что оптимальным источником освещения может служить дневной свет, который хорошо уравнивается кардинальными стимулами монитора-колориметра. Действительно — дневной свет принят в колориметрии в качестве стандартного, но с определенными оговорками, так как характер дневного освещения непрерывно меняется в зависимости от времени суток, погодных условий и проч., поэтому

использование естественного освещения не подходит для организации просмотрного места и работы цветокорректора.

Очевидно, что для нормальной работы необходим *искусственный* источник освещения, *воспроизводящий* дневной свет с неизменными параметрами. Такие источники существуют как в гипотетическом, так и в явном виде, но все они несколько отличаются друг от друга по фотометрическим и колориметрическим характеристикам.

Рассмотрим их подробно.

Существует целое семейство *гипотетических идеальных* источников стандарта ISO, воспроизводящих дневной свет с различной коррелированной цветовой температурой — т.н. D-источников (D — daylight).

**Примечание:**

Если искусственный источник освещения вызывает такое же цветовое ощущение, что и планковское черное тело, нагретое до определенной температуры, говорят о т.н. *коррелированной цветовой температуре источника*, поскольку сам источник, разумеется, имеет другую температуру.

В обозначении источника используют литеру D и первые два разряда цифр его цветовой температуры. К примеру, D50-источник — условный источник дневного света с коррелированной цветовой температурой 5000K; D65 — то же, но с цветовой температурой 6500K и т.д. На рис. 24 показана кривая спектрального распределения энергии идеального искусственного D50-источника.

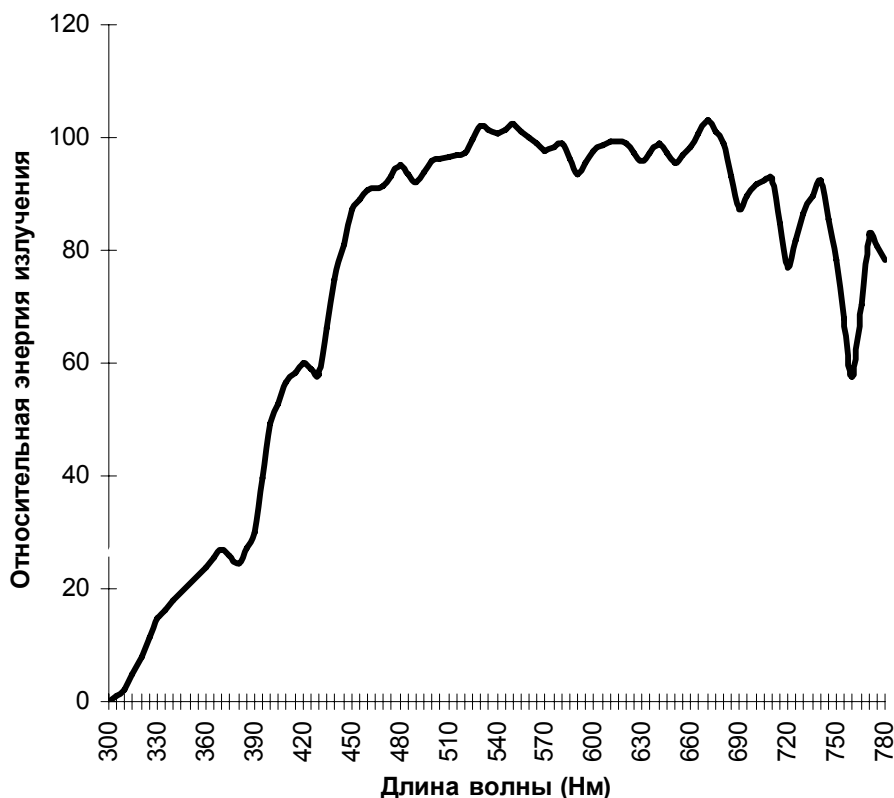


Рис. 24. Спектральное распределение энергии D50-источника.

Реальные искусственные источники освещения не могут быть совершенными, поэтому их качество принято оценивать по следующим параметрам:

**CRI (Color Rendering Index) — индекс цветового соответствия, индекс цветопередачи.** Характеризует точность цветовосприятия стандартным наблюдателем эталонного патча с известными цветовыми координатами при ближайшем D-источнике (в нашем случае D50). Высчитывается по формуле:

$$CRI = 100 - 4,6d_i$$

где  $d_i$  — это расстояние между координатами цвета образца при испытуемом источнике света и его координатами при эталонном D50-источнике в координатной системе CIE  $U^*V^*W^*$ .

Источники высокого качества имеют CRI не ниже 90.

Источники среднего качества 80–90.

Источники низкого качества 50–79.

Чем равномернее спектр осветителя, чем меньше в нем «выбросов» и «провалов», тем выше CRI.

**Примечание:**

Спектрофотометр Eye One Photo с помощью программы iShare позволяет инструментально оценить CRI данного источника.

**Metamerism Index — индекс метамеризма.** Показатель того, насколько хорошо данный источник освещения удерживает неизменность цветового ощущения от двух объектов, которые при теоретическом рассматривании их в свете эталонного D50-источника имеют метамерные кривые СРЭ (рис. 25).

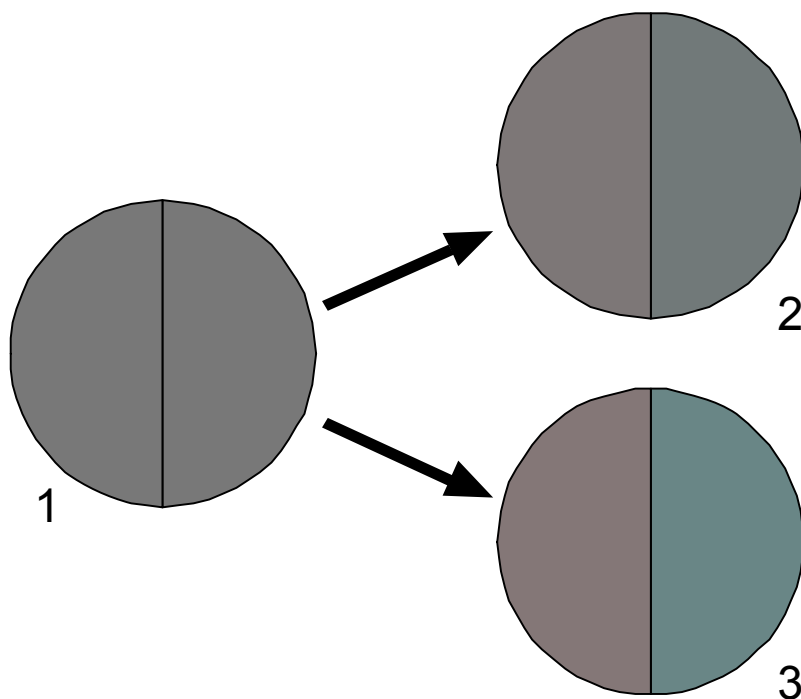


Рис. 25. 1 — два объекта, имеющие метамерные кривые СРЭ, при теоретическом рассматривании их в свете эталонного D50-источника; 2 — эти же объекты при рассматривании их в свете источника с низким индексом метамеризма (эталонный D50-источник, лампы высокого качества); 3 — эти же объекты при рассматривании их в свете источника с высоким индексом метамеризма (лампы низкого качества).



Индекс метамеризма вычисляется по специальной и довольно сложной формуле (ISO 3664, Annex B, B3) на основании спектрометрии 8 эталонных образцов, освещенных А-источником (с последующим пересчетом СРЭ на эталонный D50-источник) и при освещении этих же образцов испытываемым источником.

Индекс метамеризма ниже 4 считается показателем высокого качества источника.

Индекс метамеризма 4–8 считается показателем среднего качества источника.

Индекс метамеризма выше 8 считается показателем низкого качества источника.

Характерная спектральная кривая высококачественной пятилюминофорной люминесцентной лампы, пригодной для освещения просмотровых мест, показана на рис. 26.

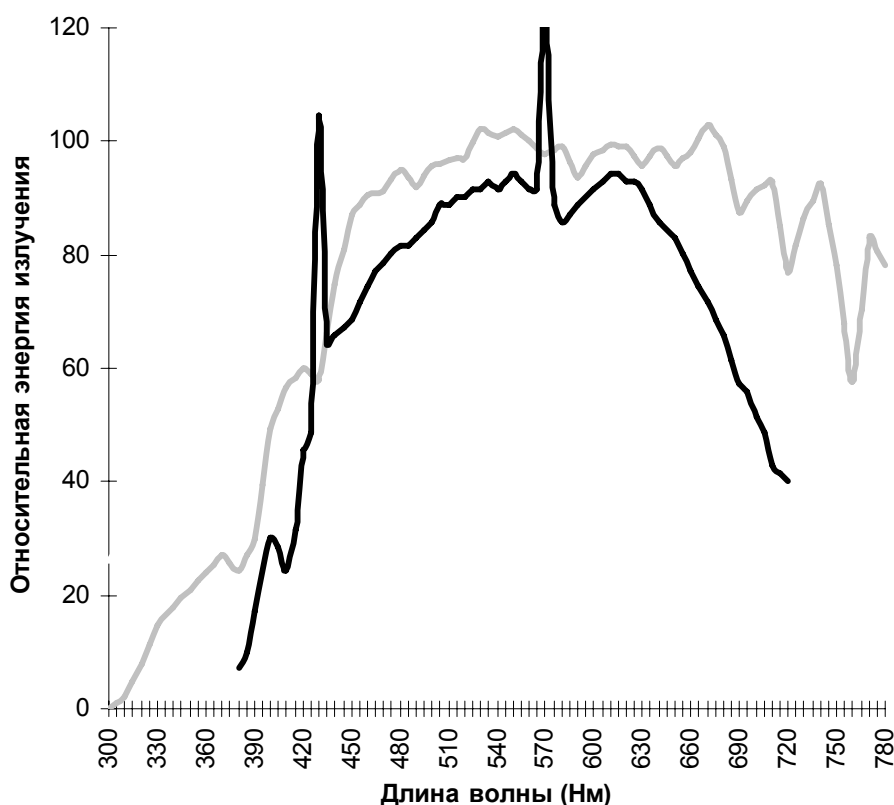


Рис. 26. Спектральная кривая высококачественной люминесцентной лампы GraphicsLite 100 D50 Color Viewing Lamp в сравнении со спектральной кривой эталонного D50-источника.

— Color Rendering Index >90

— Metamerism Index <4

Характерная спектральная кривая дешевой люминесцентной лампы, пригодной лишь для организации фонового освещения в темной комнате, показана на рис. 27 (в сравнении с D50-источником).

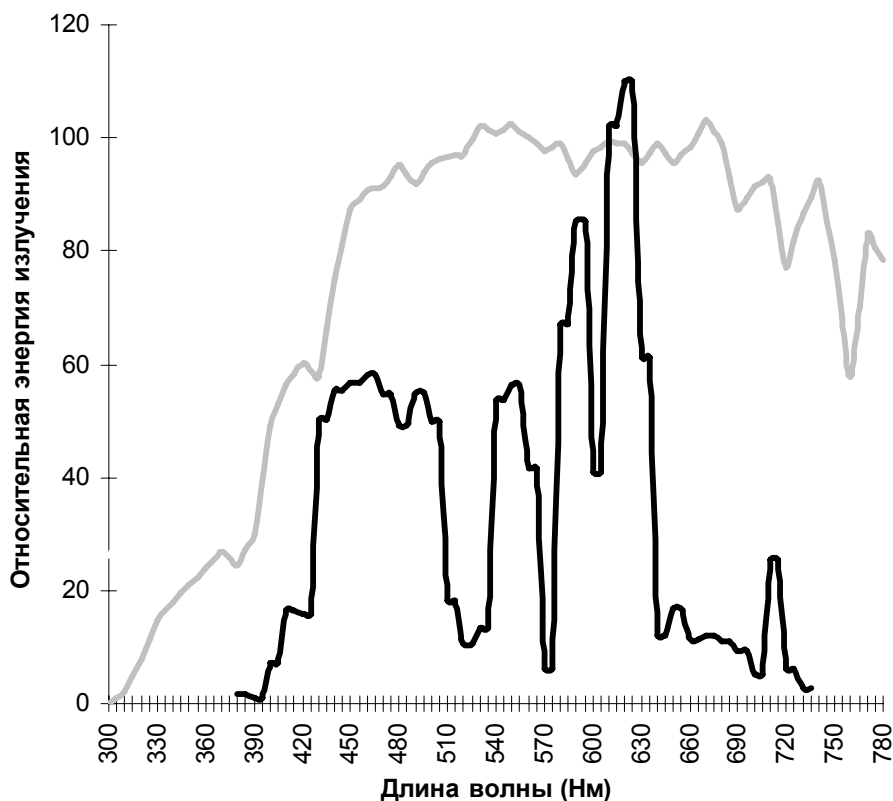


Рис. 27. Характерная спектральная кривая дешевой люминесцентной лампы в сравнении со спектральной кривой эталонного D50-источника.

- Color Rendering Index <90
- Metamerism Index >4

**Таким образом, для оценки качества источника освещения недостаточно информации о значении одной только коррелированной цветовой температуры, и следует обращать пристальное внимание еще на два параметра: Color Rendering Index и Metamerism Index.**

Производители высококачественных источников освещения для компенсации спектральных выбросов иногда применяют дополнительные лампы или специальные компенсирующие фильтры. В этом случае в спецификации изделия указываются результирующие Color Rendering Index и Metamerism Index.

На предприятиях, занятых тиражированием изображений на поверхностях, источником proof-освещения (определяющим точку адаптации), с которым, очевидно, должна быть уравнена белая точка монитора по энергетической яркости и цветовой температуре, является источник освещения просмотрового места. Для того чтобы задать точку адаптации, необходимо, чтобы источник освещения на просмотровом месте находился в непосредственной близости от экрана монитора, подобно тому как находятся в непосредственной близости поля сравнения визуального колориметра. Промышленность, в

частности компании GTI (США)<sup>15</sup> и Just-Normlicht (Германия)<sup>16</sup>, для этих целей предлагает портативные просмотрные устройства (рис. 28).

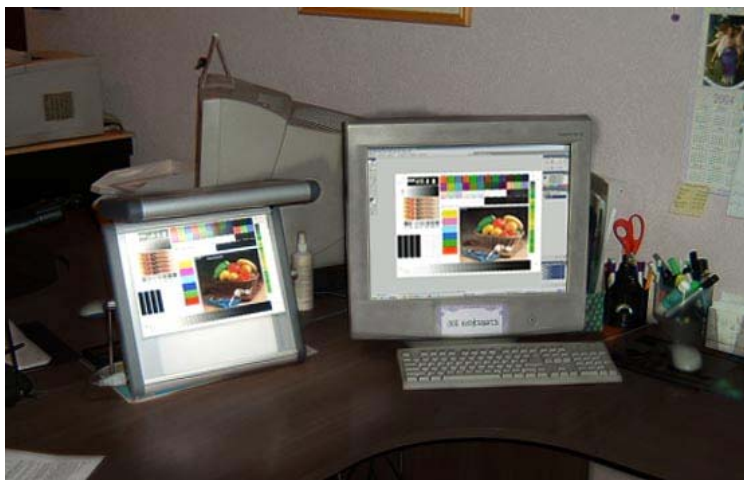


Рис. 28. Просмотровое устройство Just Normlicht 5000 CM5/VM 2С. (Хорошо видны ошибки, допущенные при обустройстве рабочего места цветокорректора: коричневая окраска стола, пестрые канцелярские принадлежности в поле зрения и др.).

**Примечание:**

Просмотровое устройство может быть расположено между двумя соседними рабочими местами, что экономит средства предприятия.

В просмотрных устройствах источником освещения является люминесцентная лампа особо высокого качества (пяти- или семилюминофорная) с коррелированной цветовой температурой 5000К, с высоким показателем CRI (>90) и низким индексом метамеризма (<4).

Просмотровые устройства бывают трех видов (рис. 29, 30, 31):

- «на отражение». Стоимость лежит в пределах 500–600\$ (формат А4);
- «на просвет». Стоимость лежит в пределах 150–200\$ (формат А5);
- «комбинированные» (просвет/отражение). Стоимость лежит в пределах 900–1200\$ (формат А4).

---

<sup>15</sup> [www.graphiclite.com](http://www.graphiclite.com)

<sup>16</sup> [www.just-normlicht.com](http://www.just-normlicht.com)



Рис. 29. Просмотровые устройства «на отражение». Слева — просмотровое устройство производства Just Normlicht с лампой среднего класса. Справа — устройство производства GraphicLite (GTI) с лампой высшего класса (GTI Full Spectrum).



Рис. 30. Просмотровые устройства «на просвет». Слева — просмотровое устройство производства Just Normlicht с лампой среднего класса. Справа — устройство производства GraphicLite (GTI) с лампой высшего класса (GTI Full Spectrum).



Рис. 31. Комбинированные просмотровые устройства. Слева — просмотровое устройство производства Just Normlicht с лампой среднего класса. Справа — устройство производства GraphicLite (GTI) с лампой высшего класса (GTI Full Spectrum).

Для выхода на заданные параметры лампа просмотрного устройства требует разогрева в течение 15–20 минут.

Срок службы лампы просмотрных устройств, то есть период неизменности ее характеристик, ограничен и составляет, как правило, 2500 часов непрерывной работы (примерно 1 год при работе в течение 8 часов ежедневно), поэтому рекомендуем заранее запастись 2–3 дополнительными лампами (их стоимость порядка 30\$).

При выборе модели просмотрного устройства необходимо, чтобы оно имело т.н. *диммер* — регулятор яркости лампы. Если устройство не имеет диммера и яркость лампы фиксирована (к примеру, устройство Just Normlicht 5000 CM5/VM 2C), то освещенность поверхностей будет равна примерно 1800 люксам, что соответствует яркости эталонной белой поверхности 100 cd/m<sup>2</sup>. Не всякий монитор, калиброванный на D50, сможет обеспечить такую яркость белой точки. Например, монитор с высококлассным дисплеем SONY GDM F520, калиброванный на D50 в режиме Professional, достигает по белой точке лишь 92–93 cd/m<sup>2</sup>. Согласно стандарту ISO 3664, интенсивность свечения лампы просмотрного устройства настраивается таким образом, чтобы уровень освещенности поверхностей лежал в диапазоне 1500–2500 люкс (яркость эталонной белой поверхности 82–135 cd/m<sup>2</sup>). Наилучшей является освещенность 1800 lux, которая соответствует яркости идеального диффузного отражателя 100cd/m<sup>2</sup>. Однако, как мы уже сказали, устанавливать освещенность больше чем 1900 люкс (белая точка 110 cd/m<sup>2</sup>) не рекомендуется, т.к.:

— во-первых, высока вероятность того, что монитор не сможет обеспечить такой уровень энергетической яркости белой точки, в особенности если его диагональ больше 19 дюймов;

— во-вторых, практически у всех моделей CRT-дисплеев (даже самого высокого класса) при яркости белой точки выше 110 cd/m<sup>2</sup> становятся сильно заметными расфокусировка лучей и нарушение их сведения;

— в-третьих, излишняя интенсивность освещения на просмотрном месте делает заметными те детали поверхности (фактуру бумаги, ее волокна, царапины, трещины, отпечатки пальцев и прочие дефекты), которые мешают восприятию самого изображения.

Установка освещенности белой поверхности в диапазоне 900–1400 люкс (яркость эталонной белой поверхности 51–77 cd/m<sup>2</sup>) вполне возможна, но формально она не соответствует принятому стандарту.

Уменьшение уровня освещенности белой поверхности на просмотрном месте ниже 900 люкс (яркость эталонной белой поверхности ниже 50 cd/m<sup>2</sup>), то есть фактический выход на Practical-освещенность не рекомендуется, так как приводит минимум к трем нежелательным эффектам:

— отклонению спектра осветителя просмотрного места от номинала и определенному хроматическому сдвигу (чаще в пурпурную или красную области), рис. 32;

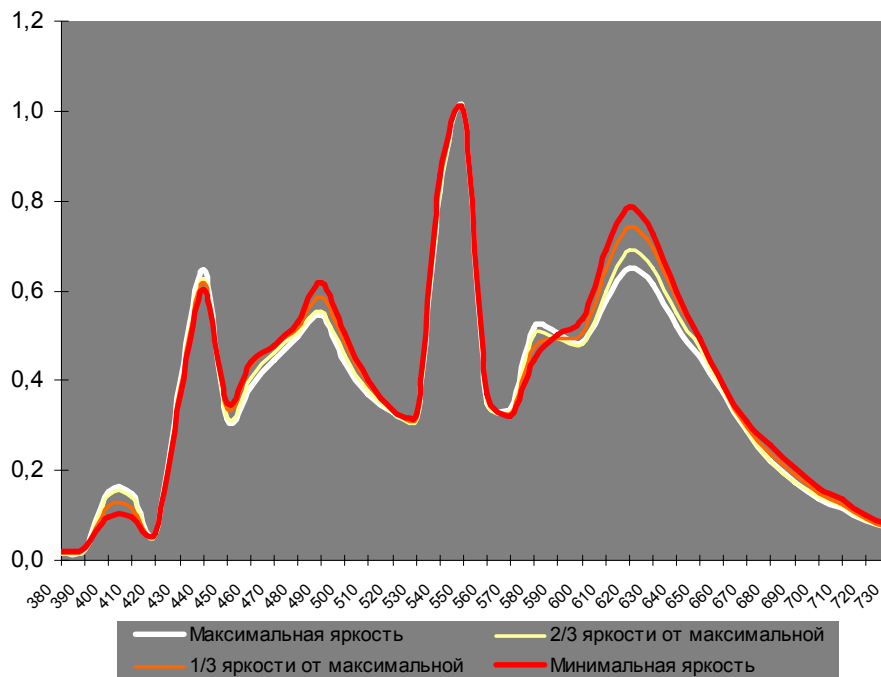


Рис. 32. Нормированные кривые СРЭ лампы просмотрного устройства Just-Normlicht Color Master S при четырех положениях диммера. На графике хорошо видно нарастание относительной интенсивности пика «красного» люминофора (630 Нм) и понижение относительной интенсивности «синего» (415Нм) при диммерном снижении общей энергетической яркости лампы, что ведет к смещению цветового тона (Hue) «белого» света на 20° в красную сторону.

- на поверхности: к потерям деталей изображений в тенях;
- в мониторе: к осязатому снижению его цветового охвата (напомним, энергетическая яркость белой точки дисплея должна быть уравнена с яркостью белой поверхности на просмотрном месте. Уровень яркости в данном случае будет много меньше максимально возможного уровня яркости белой точки монитора, что существенно снижает его цветовой охват).

Для организации фоновое освещения в темной комнате рекомендуются марки люминесцентных осветителей производства Just-Normlicht:

Тип лампы	Цветовая температура	Длина	Цена (Eur)
LL/SE 8 Watt	5000 Kelvin	290 mm	18
LL/SE 13 Watt	5000 Kelvin	530 mm	18
LL/SE 15 Watt	5000 Kelvin	438 mm	18
LL/SE 18 Watt	5000 Kelvin	590 mm	18
LL/SE 36 Watt	5000 Kelvin	1200 mm	21
LL/SE 36 Watt	5000 Kelvin	1000 mm	12
LL/SE 58 Watt	5000 Kelvin	1500 mm	21

Лампы указанного производителя являются оптимальным выбором для организации фоновое освещения. Нужно учитывать, что большого количества ламп не требуется: к примеру, для организации фоновое освещения в комнате площадью 20 кв. м. понадобится не более десятка осветителей марки LL/SE 1x15 438 mm. В то же время, нужно помнить о том, что выгорание люминофоров и изменение спектра излучения данных ламп происходит довольно быстро, примерно через 2000-2500 часов от момента установки, что требует регулярной проверки и замены светильников.

Для организации фоновое освещения подойдут также лампы марки Philips 950 (CRI 93).

**Примечание:**

Для организации просмотровых мест в последнее время в продажу поступили светильники нового типа на основе галогенных ламп накаливания, свет которых проходит через специальный конверсионный фильтр. Такие светильники обеспечивают идеально ровное распределение энергии и высокий CRI. Пока еще их коррелированная цветовая температура несколько ниже необходимых 5000К (4700–4800К), однако, это не мешает их эффективному использованию.

## **Выбор параметров колориметрической настройки монитора**

После того как выполнены все необходимые мероприятия по организации digital darkroom, приступают к колориметрической настройке монитора. Но прежде чем запустить программное обеспечение и взять в руки измерительный прибор, нужно ответить себе на вопрос: **как мы хотим использовать данный монитор-колориметр?**

Возможны, как минимум, четыре варианта ответа:

— *монитор-колориметр будет использован как самостоятельное цветовоспроизводящее устройство*, задача которого состоит в точной передаче цветовых ощущений, данные о которых записаны в файл изображения. Визуального сравнения изображений на экране с изображениями на других носителях проводиться не будет (обработка изображений для печати на удаленном предприятии, Web-дизайн, просмотр видеофильмов);

— *монитор-колориметр будет использован как цветопробное устройство*, эмулирующее работу конкретного субтрактивного устройства (все виды полиграфии, фотодело), то есть предполагается регулярное визуальное сравнение изображений на экране с оттисками;

— *монитор-колориметр будет использован как визуализатор изображений, полученных при сканировании слайдов*, то есть предполагается регулярное сравнение изображения на экране со слайд-оригиналами;

— *монитор-колориметр будет использоваться и как самостоятельное, и как цветопробное устройство, и как слайдскан-визуализатор* (полифункциональная система).

Первые три варианта обозначим как «монитор-колориметр с фиксированными параметрами настройки».

Под *полифункциональной* мы понимаем систему, которая позволяет оперативно и без значительных потерь точности визуализации перестраивать монитор за счет LUT (Look Up Table) видеоадаптера на любой из перечисленных вариантов использования, не **изменяя при этом установок передней панели дисплея (OSD)<sup>17</sup> и не проводя новых**

---

<sup>17</sup> OSD — On Screen Display.

**инструментальных измерений.** Такая система может быть построена, если в распоряжении пользователя имеется программный пакет Profile Maker (Gretag Macbeth).

**Примечание:**

В полном смысле полифункциональная система станет лишь тогда, когда наряду с механизмом LUT-управления белой точкой и величиной гамма пользователь получит в свое распоряжение механизм LUT-управления черной точкой монитора.

В зависимости от того, каким будет ответ, должны быть правильно выбраны величины следующих параметров:

- энергетической яркости белой точки;
- цветовой температуры белой точки;
- необходимого энергетического контраста монитора;
- энергетической яркости точки черного.

Принципы выбора величин этих параметров для разных вариантов использования монитора-колориметра представлены в таблице.

Параметр	Монитор-колориметр с фиксированными параметрами настройки			Монитор-колориметр как полифункциональная система
	Монитор-колориметр как самостоятельное цветовоспроизводящее устройство	Монитор-колориметр как цветопробное устройство	Монитор-колориметр как слайдскан-визуализатор	
<b>Энергетическая яркость белой точки</b>	Выбирается исходя из ощущения оптического комфорта, как правило, 80–90 cd/m <sup>2</sup> . Следует иметь в виду, что оптический комфорт может быть достигнут как на больших, так и на меньших значениях яркости, но: — выбор большей яркости приведет к сокращению срока службы кинескопа у CRT-дисплеев; — выбор меньших значений яркости приведет к потерям деталей в глубоких тенях изображений.	Уравнивается с энергетической яркостью тиражной белой поверхности на просмотрном месте.	Энергетическая яркость белой точки должна быть в 9–15 раз ниже, чем энергетическая яркость поверхности просмотрного устройства на просвет: высокая энергетическая яркость белой точки просмотрных устройств на просвет продиктована высоким уровнем вуали слайдов (0,15–0,21D).	Выбирается максимально возможной. В дальнейшем любая необходимая меньшая энергетическая яркость достигается за счет изменений в LUT видеокарты.
<b>Цветовая температура белой точки</b>	Выбирается исходя из чувства оптического комфорта или максимума цветового охвата монитора (как правило, 6500K)	Уравнивается с цветовой температурой света просмотрного места, отраженного от тиражной поверхности.	Уравнивается с цветовой температурой света просмотрного устройства на просвет (как правило, 5000K)	Выбирается исходя из максимума цветового охвата монитора (как правило, 6500K). В дальнейшем любая требуемая цветовая температура достигается за счет изменений в LUT.
<b>Необходимый</b>	Выбирается	Должен быть равен	Выбирается	Выбирается



<b>энергетический контраст монитора</b>	максимально возможным и задается уровнем энергетической яркости черной точки (при выбранном уровне белой).	энергетическому контрасту оттисков.	максимально возможным и задается уровнем энергетической яркости черной точки, что обусловлено высоким энергетическим контрастом слайда за счет максимальных оптических плотностей в районе 3,4D (примечание 2) .	максимально возможным и задается уровнем энергетической яркости черной точки.
<b>Энергетическая яркость точки черного</b>	Критерием выбора является минимальная энергетическая яркость, при которой: — различимы детали в глубоких тенях изображений; — минимальна хроматическая компонента черной точки.	Критерием выбора является уровень энергетической яркости черной точки оттиска (примечание 1).	Критерием выбора является минимальная энергетическая яркость, при которой: — различимы детали в глубоких тенях изображений; — минимальна хроматическая компонента черной точки. Приоритет отдается различимости деталей в тенях (примечание 3).	Критерием выбора является минимальная энергетическая яркость, при которой: — различимы детали в глубоких тенях изображений; — минимальна хроматическая компонента черной точки. Приоритет отдается различимости деталей в тенях, так как зрение человека менее требовательно к цветопередаче в зонах низких энергий.

**Примечания к таблице.**

**Примечание 1.**

Уровень энергетической яркости в cd/m<sup>2</sup> при освещенности 1800 люкс (эквивалентная яркость идеального диффузного отражателя 100 cd/m<sup>2</sup>) будет равен величине Y в ЦКС XYZ ( величину Y можно взять из референса промеров принтерной тест-карты или из профайла устройства).

**Примечание 2.**

Энергетическая яркость поверхности просмотровых устройств на просвет колеблется в диапазоне 950–1270 cd/m<sup>2</sup> (ISO 3664), что позволяет увидеть детализовку в самых глубоких тенях слайда. Для того чтобы высокая яркость просмотрового устройства не вызвала смещения адаптации по максимальной энергии, свободное от слайда поле просмотрового устройства следует прикрывать непрозрачной серой шторкой и только после этого включать лампу просмотрового устройства.

**Примечание 3.**

При использовании Profile Maker нужно постараться «поймать» минимум энергетической яркости, при которой программа не пытается выправлять черную точку «по своему усмотрению» за счет LUT (подробно см. главу «Калибровка монитора с помощью Profile Maker 5.x.x»).

После того как выбор перечисленных параметров сделан, необходимо выбрать еще один параметр: величину степени нелинейности видеосистемы, то есть величину гамма-

компенсации. Как уже говорилось, выбор определяется величиной гамма-предыскажения, принятой на данной компьютерной платформе (Mac — 1,8; PC — 2,2).

**Примечание:**

При визуализации файлов с помощью CMS-aware приложений (серьезные графические редакторы — Adobe, Macromedia, Corel) величина гамма-компенсации не имеет принципиального значения и может лежать в широком диапазоне. Если же есть необходимость в визуализации файлов с помощью программ, не использующих CMS (различные файл-виверы и т.д.), величина гамма-компенсации должна соответствовать величине гамма-предыскажения, принятой на данной компьютерной платформе.

Когда пользователь четко определил для себя вариант использования монитора-колориметра и, отталкиваясь от этого, определил величины параметров колориметрической настройки видеосистемы, необходимо выставить выбранные параметры кнопками передней панели дисплея. Установить выбранные параметры можно как *визуально*, так и *при поддержке измерительного прибора и программного обеспечения калибровки монитора*.

**Визуальная установка параметров колориметрической настройки монитора**

Визуальная установка выбранных параметров настройки проводится не только тогда, когда в распоряжении пользователя нет измерительного устройства, но в первую очередь когда инструментальная установка не дает желаемого результата, что чаще всего возникает в обстановке, не отвечающей стандарту ISO 3664, — то есть, в большинстве случаев. К примеру: цветовая температура источника освещения просмотрового места, задающая хроматическую адаптацию, не равна 5000K или используется источник с очень низким качеством спектра; стены помещения имеют хроматический компонент или позади монитора находится темный объект, смещающий адаптацию по контрасту относительно просмотрового места, и т.п.

**Примечание:**

При визуальной установке параметров настройки нельзя ориентироваться на численные значения OSD-панели, так как они всегда являются относительными, к примеру: отклонение значения цветовой температуры на OSD-панели от реального даже у высококлассных дисплеев может достигать  $\pm 500\text{--}700\text{K}$ .

В визуальной установке параметров поможет таблица:

Параметр	Монитор-колориметр с фиксированными параметрами настройки			Монитор-колориметр как полифункциональная система
	Монитор-колориметр как самостоятельное цветовоспроизводящее устройство	Монитор-колориметр как цветопробное устройство	Монитор-колориметр как слайдскан-визуализатор	
<b>Энергетическая яркость точки черного</b>	Регулируется позицией Brightness при поддержке страницы Brithness&Contrast утилиты Nokia Test. Уровень черной точки выводят на минимум, а затем повышают до появления отличия поля 1% от фона.	Регулируется позицией Brightness при поддержке страницы Brithness&Contrast утилиты Nokia Test. Уровень светлоты черной точки делают максимально приближенным к	Регулируется позицией Brightness при поддержке страницы Brithness&Contrast утилиты Nokia Test. Уровень черной точки выводят на минимум, а затем повышают до появления отличия	Регулируется позицией Brightness при поддержке страницы Brithness&Contrast утилиты Nokia Test. Уровень черной точки выводят на минимум, а затем повышают до появления отличия поля 1% от фона.

		уровню светлоты черной точки тиражного оттиска. Отметим, что черная точка оттиска — это участок изображения, запечатанный максимально возможным количеством красок, а не одной лишь черной краской.	полей 2-3% от фона. Различимостью поля 1% приходится жертвовать для достижения максимально возможного энергетического контраста (2,9–3,1D)	
<b>Цветовая температура белой точки</b>	Выбирается исключительно исходя из чувства оптического комфорта и регулируется RGB-gain.	С помощью RGB-gain визуально уравнивается с цветовой температурой света просмотрового места, отраженного от поверхности, принятой за эталонную. Такой поверхностью может служить лист высококачественной плотной бумаги, не содержащей оптических отбеливателей. Наилучшим вариантом является металлическая пластина, покрытая оксидом магния или бария.	С помощью RGB-gain визуально уравнивается с цветовой температурой света просмотрового устройства на просвет.	Поскольку визуально оценить цветовую температуру белой точки монитора невозможно, то остается выбрать на OSD-панели значение 6500K или режим sRGB (присутствует в некоторых моделях дисплеев). В дальнейшем любая необходимая цветовая температура достигается за счет изменений в LUT видеокарты.
<b>Энергетическая яркость белой точки</b>	Регулируется с помощью позиции Contrast.	С помощью позиции Contrast визуально уравнивается с энергетической яркостью белой поверхности тиражного оттиска на просмотровом месте.	С помощью позиции Contrast визуально уравнивается с энергетической яркостью просмотрового устройства на просвет, проходящего через засвеченный (прозрачный) участок слайд-пленки. Желательно использовать пленку среднего (6 см по ширине) или большого формата (4x5 дюймов). Свободное от пленки место на просмотровом	Позиция Contrast устанавливается на границу зоны насыщения дисплея (как правило, максимум). В дальнейшем любая необходимая меньшая энергетическая яркость достигается за счет изменений в LUT видеокарты.

			устройстве нужно закрыть рамкой из черной бумаги или заклеить черной изолянтной.	
--	--	--	--	--

Обращаем внимание на то, что **параметры, регулируемые кнопками передней панели дисплея, взаимно влияют друг на друга**. Поэтому вполне вероятно, что желаемый результат не будет достигнут с первого раза. Скорее всего, потребуется два-три цикла установки выбранных параметров.

### **Инструментальная установка параметров колориметрической настройки монитора**

Инструментальная установка параметров колориметрической настройки монитора может быть проведена с помощью измерительного прибора (спектрофотометра или фотоэлектрического колориметра) и программного обеспечения разных производителей.

**Примечание:**

Независимо от типа программного обеспечения для контроля получившегося энергетического контраста монитора необходим завершающий замер черной и белой точек в системе XYZ. Энергетический

контраст оценивается по десятичному логарифму отношения значений координат  $\frac{Y_{white}}{Y_{black}}$ .

\* \* \*

Итак, **самое сложное в колориметрической настройке видеосистемы — это обеспечение правильных условий освещения и осмысленный выбор параметров настройки**, который проводится исходя из поставленной задачи. Дальнейшие действия — гамма-приводка и построение профайла — просты и являются прерогативой измерительного оборудования и различных программ, которые в большинстве случаев успешно справляются со своей задачей.

Безусловно, программы всех производителей (Gretag Macbeth, X-Rite, Fuji, Monaco и проч.) помогают пользователю в OSD-установке параметров настройки исходя из усредненных критериев выбора, но прежде всего ориентироваться следует на критерии, которые обсуждались в данной главе, т.е. исходя из задач, для которых будет использоваться монитор-колориметр.

**Примечание:**

Сказанное не означает, что усредненные критерии, предлагаемые программами, не могут удовлетворить пользователя в ряде случаев, например, при настройке монитора как самостоятельного цветовоспроизводящего устройства.

Для осуществления гамма-приводки программы предлагают шаги (степы), благодаря которым выполняются необходимые измерения и последующее автоматическое внесение изменений в LUT. Затем следуют шаги, при которых выполняются необходимые измерения, построение и сохранение профайла видеосистемы. Все программы дают возможность выполнять гамма-приводку и характеризацию как отдельно, так и слитно, когда сразу по завершении гамма-приводки автоматически начинается промер патчей характеризации.

**Примечание:**

Исключение составляет программа Heidelberg View Open 4, которая не выполняет гамма-приводку, а рассчитывает на то, что гамма-приводка уже выполнена с помощью какой-либо сторонней программы, или же сразу строит табличный профайл (что с нашей точки зрения делает программу совершенно бессмысленной).

**Выбор и установка параметров настройки монитора-колориметра с последующей гамма-приводкой видеосистемы являются слагаемыми процесса, который и является собственно калибровкой монитора.**

Подробное описание методики калибровки монитора — т.е. методики инструментальной установки выбранных параметров настройки и методики гамма-приводки — будет рассмотрено нами позже на примере работы программного пакета Profile Maker 5.x.x.

## **Программное обеспечение и измерительное оборудование, необходимые для настройки монитора**

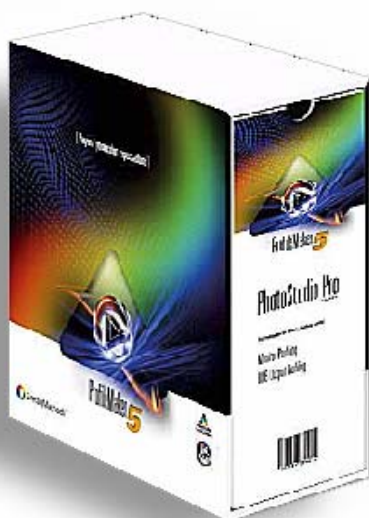
Колориметрическую настройку монитора производит *человек* с помощью измерительного оборудования и при поддержке специального программного обеспечения. Подобно тому как оригинал-макет издания может быть создан с помощью разных программ, так и колориметрическая настройка монитора может быть выполнена оператором при поддержке программного обеспечения разных производителей.

Программный пакет ProfileMaker 5.x.x компании GretagMacbeth ([www.gretagmacbeth.com](http://www.gretagmacbeth.com)) является на сегодня безусловно самым развитым и надежным программным обеспечением *работ* (а не измерительных приборов, как порой принято считать), связанных с колориметрической настройкой цветовоспроизводящих устройств, в частности — мониторов. На его основе и будет построено изложение практического материала в данной статье.

**Важное примечание:**

Тем, кто не имеет возможности воспользоваться программным пакетом ProfileMaker 5.x.x, мы рекомендуем работу с программой Eye-One Match 3, которая входит в комплект поставки измерительных приборов GretagMacbeth, а также бесплатно распространяется на официальном сайте компании. Данная

программа представляет собой слегка упрощенный вариант программного модуля настройки мониторов Profile Maker, с несколько ограниченными возможностями и с видоизмененным адаптированным пользовательским интерфейсом. В то же время качество колориметрической настройки мониторов с помощью Eye-One Match 3 очень высокое, идентичное качеству ProfileMaker 5.x.x.



ProfileMaker 5.x.x выпускается в трех модификациях, имеющих одинаковый программный модуль настройки монитора:

- ProfileMaker 5.x.x [Publish Pro](#),
- ProfileMaker 5.x.x [Photostudio Pro](#),
- ProfileMaker 5.x.x [Packaging Pro](#).

Рис. 33. Программный пакет Profile Maker 5

Однако указанного программного обеспечения недостаточно для успешной настройки видеосистемы. Необходимо запастись также вспомогательными программами: популярной утилитой Nokia Test, а также утилитами ColorLab 2,77, Calibration Tester и Display Profile, бесплатно распространяемыми компанией GretagMacbeth.

В выборе измерительного прибора предпочтение можно отдать спектрофотометру Spectrolino производства Gretag Macbeth. Однако стоимость такого прибора очень высока — около 4000Eur.



Меньшим по стоимости (около 2000Eur), но несколько уступающим Spectrolino по качеству измерений в тенях является спектрофотометр EyeOne, выпускаемый тем же предприятием.

Рис. 34. Спектрофотометр Spectrolino



Рис. 35. Спектрофотометр EyeOne

Приемлемыми по качеству, но существенно более дешевыми являются фотоэлектрические колориметры EyeOne Display и EyeOne Display II<sup>18</sup> (стоимость около 200Eur и 250Eur соответственно), производства также GretagMacbeth,



Рис. 36. Фотоэлектрический колориметр EyeOne Display

и Monitor Optimizer DTP-92 (предназначен для настройки видеосистем только с CRT-дисплеями) производства американской фирмы X-Rite (стоимость около 400Eur)<sup>19</sup>.

<sup>18</sup> Поддерживается версиями Profile Maker 5.0.2 и выше.

<sup>19</sup> Для успешной работы устройства с Profile Maker 5.x.x на PC-платформе необходимо установить последнее обновление его драйвера (интерактивная ссылка).



Рис. 37. Фотоэлектрический колориметр X-Rite Monitor Optimizer DTP-92

Несмотря на вполне удовлетворительные результаты работы, нужно учитывать, что точность измерений, а следовательно, и точность настройки монитора при использовании спектрофотометров выше, чем при использовании колориметров.

На сегодняшний день список устройств, поддерживаемых Profile Maker 5.x.x, для выполнения emission-измерений ограничен перечисленными приборами.

Тем, кто уже имеет в наличии измерительный прибор, несовместимый с Profile Maker, рекомендуем разобраться в теоретических основах и принципах колориметрической настройки мониторов, изложенных в данной статье, и перенести эти принципы на работу с имеющимся программным обеспечением.

Тем, кто не может воспользоваться измерительным оборудованием, на помощь придет утилита Adobe Gamma, входящая во все графические программы Adobe. Методика работы с Adobe Gamma дана в приложении.

## Предварительная неколориметрическая настройка монитора

Прежде чем приступать к настройке монитора, необходимо дать дисплею проработать в интенсивном (лучше в круглосуточном) режиме в течение месяца с целью стабилизации параметров.

Перед тем как приступить к каким бы то ни было манипуляциям, необходимо:  
— прогреть дисплей как минимум в течение 35-45 минут (желательно 1 час);

### **Примечание:**

С целью экономии времени в период прогрева аппарата можно установить необходимое программное обеспечение.

— выполнить команду «Reset all parameters» («All Reset») из меню передней панели и команду «Degauss».

### **Важное примечание:**

Невыполнение команд «Reset all parameters» и «Degauss» может привести к неудаче при попытке калибровки и характеристики монитора.

Затем при помощи утилиты Nokia Test (заглавная страница) (рис. 38) производится отладка «геометрии» устройства при выбранном уровне экранного разрешения и частоты вертикальной развертки (пользователи дисплеев Nec-Mitsubishi могут воспользоваться утилитой NaviSet).

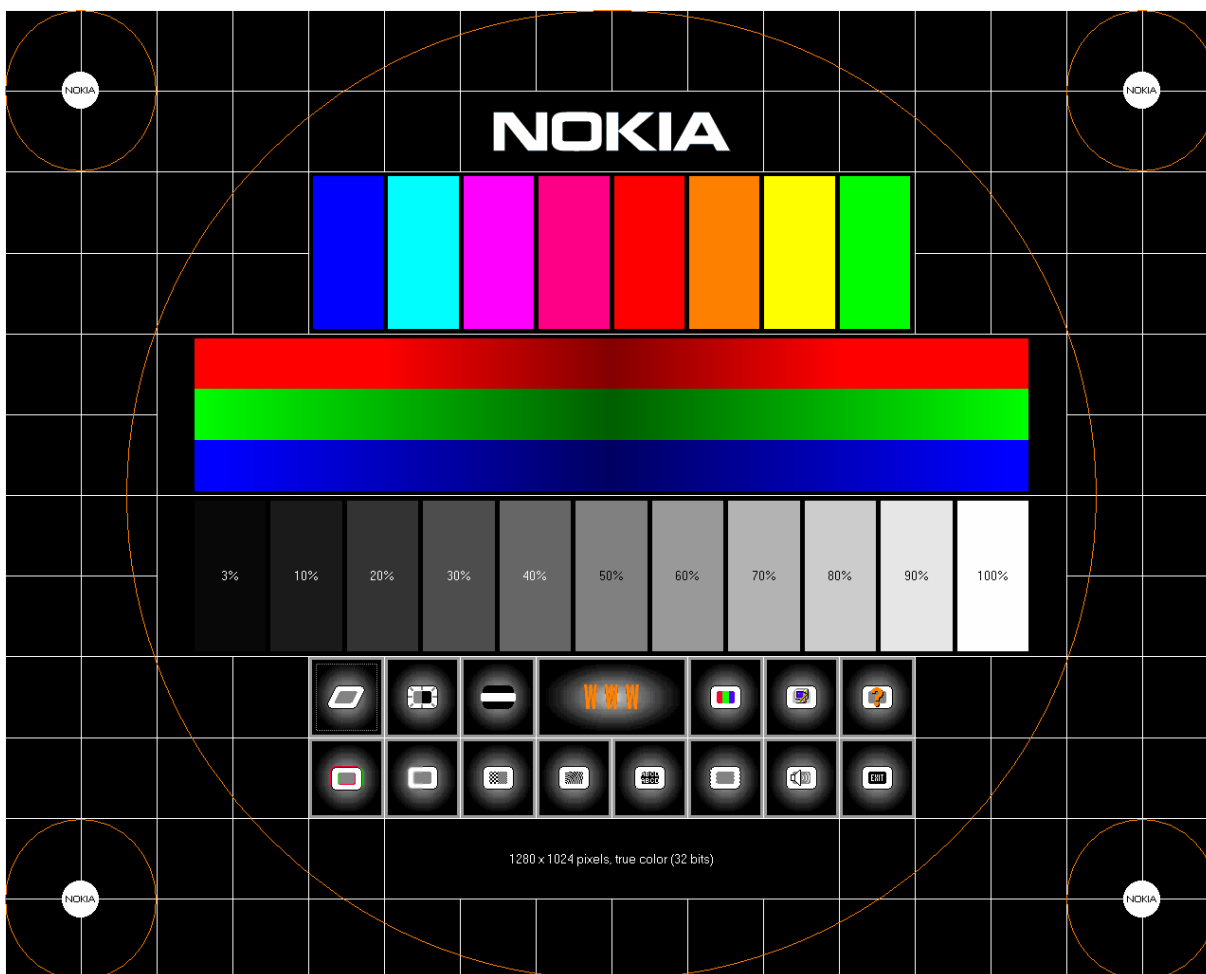


Рис. 38. Заглавная страница утилиты Nokia test.

Частота вертикальной развертки дисплея должна быть не ниже 75Гц.

Разрядность экранного представления цвета всегда должна быть равна 32 bit.

Режимы «засыпания» компьютера и дисплея, какие бы то ни было варианты «красочного» оформления desktop должны быть отключены. Рабочий стол должен иметь либо нейтрально-серую заливку, либо нейтрально-серую текстуру, как показано на рис. 39.



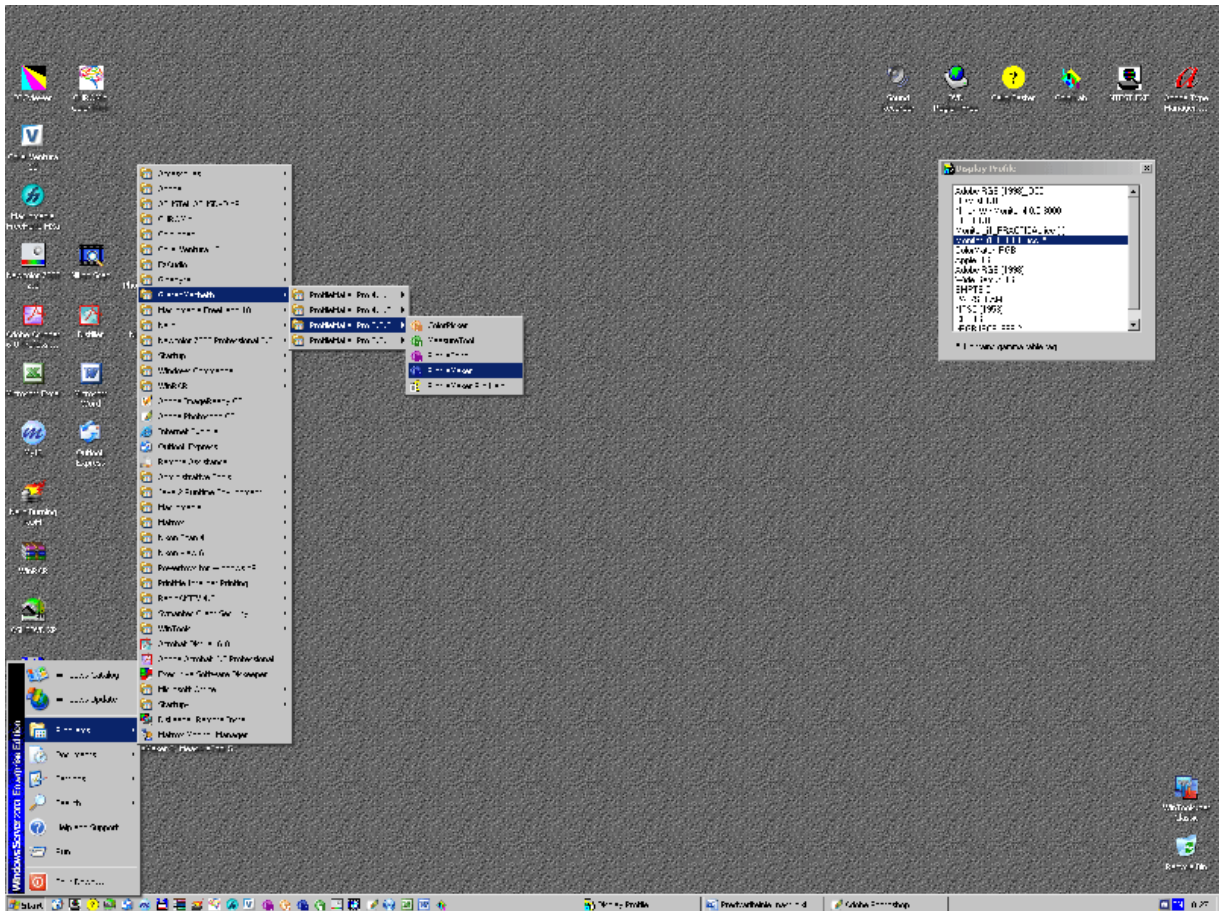


Рис. 39.

Функция «Screensaver» должна иметь хроматически нейтральную заставку.

Затем необходимо выполнить еще два мероприятия: добиться максимальной конвергенции RGB-лучей по горизонтали и вертикали, воспользовавшись любой из функций: «Convergence», «Focus» или «Readability» утилиты Nokia Test (рис. 40),

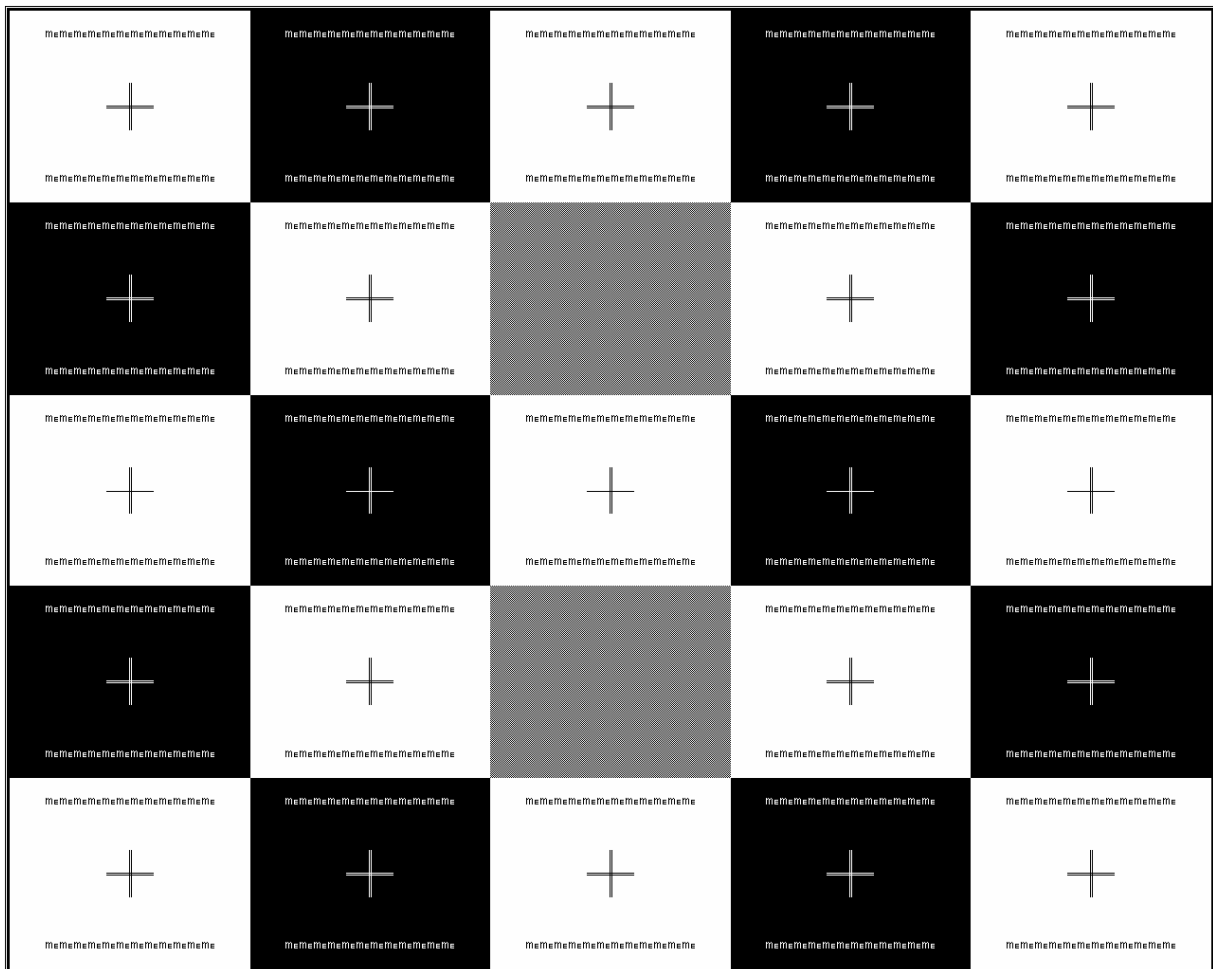


Рис. 40. Интерфейс функции «Focus», которая хорошо подходит и для настройки сведения лучей.

а также добиться визуальной равномерности свечения экрана по всему полю (функция «Color», режим «белое поле»).

Сведение лучей отлаживают, глядя в центр экрана через увеличительное стекло. При этом манипулируют опциями «horizontal&vertical convergence», вызываемых кнопками передней панели дисплея. Данная операция очень важна, так как качество сведения лучей оказывает радикальное влияние на точность последующих измерений.

**Примечание:**

Отладка сведения лучей с помощью увеличительного стекла — крайне утомительная для зрения процедура.

Равномерность свечения регулируют опциями «parity» (также вызываемыми кнопками передней панели), заполнив экран сплошным белым полем. Лучше отлаживать равномерность свечения с помощью измерительного прибора, выполняя промеры по углам экрана и приняв при этом за константу цветовые координаты белого поля в центре дисплея. Процедуру можно считать выполненной, когда dE не будет превышать 1-1,5. Следует отметить, что далеко не всякий монитор (даже профессионального класса) может обеспечить такой уровень равномерности по всей поверхности экрана, но нужно стремиться свести отличия к минимуму.

**Важное примечание:**

Опции OSD-панели дисплея у разных производителей имеют разные и не всегда понятные наименования. Потребуется время и эксперименты, прежде чем удастся понять их назначение.

## Передняя панель дисплея (OSD) и ее настройки

Клавиши передней панели дисплея позволяют выполнять настройку работы видеосистемы за счет изменения сугубо аппаратных параметров, которые можно разделить на три категории.

*Первая категория настроек* — это настройки, определяющие видеосистему как трехстимульный визуальный колориметр. Именно эти настройки представляют для нас непосредственный интерес. К ним относятся: позиция «RGB gain», позиция «Contrast», позиция «Brightness», позиция «RGB bias».

*Вторая категория настроек* — это настройки, обеспечивающие минимум пространственных и резкостных aberrаций изображения, приводящие в норму неколориметрические параметры изображения («геометрия» экрана, фокусировка лучей и их сведение).

*Третья категория настроек* — вспомогательная, обеспечивающая удобство работы с первыми двумя категориями (OSD position, Language и т.п.).

Предложенная классификация является смысловой классификацией, но часто производители дисплеев не придерживаются ее, опции передней панели дисплея дают вперемежку, что несколько затрудняет работу.

Остановимся подробно на первой категории настроек.

### CRT-дисплеи

В главе «Нелинейность монитора-колориметра» мы показали упрощенную формулу соотношения между напряжением входного сигнала и энергетической яркостью свечения люминофоров. В данной главе необходимо дать полную формулу для каждого канала (кардинального стимула) отдельно и для их совместной работы:

$$Y_R = Y_{R0} + (Y_{Rmax} - Y_{R0}) \left[ \frac{\alpha_R V_{Ri} + \beta_R}{Y_{Rmax}} \right]^{\gamma_R}$$

$$Y_G = Y_{G0} + (Y_{Gmax} - Y_{G0}) \left[ \frac{\alpha_G V_{Gi} + \beta_G}{Y_{Gmax}} \right]^{\gamma_G}$$

$$Y_B = Y_{B0} + (Y_{Bmax} - Y_{B0}) \left[ \frac{\alpha_B V_{Bi} + \beta_B}{Y_{Bmax}} \right]^{\gamma_B}$$

где:  $V_i$  — напряжение входного сигнала;  $V_{max}$  — максимальное напряжение входного сигнала;  $Y_0$  — т.н. остаточная энергетическая яркость при  $V_i=0$ ;  $Y_{max}$  — максимальная энергетическая яркость при  $V_i = V_{max}$ ;  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  — константы.

Результирующая формула для суммы трех каналов:

$$Y_W = Y_{W0} + (Y_{W\max} - Y_{W0}) \left[ \frac{\alpha_W V_{Wi}}{Y_{W\max}} + \beta_W \right]^{\gamma_W}$$

### Позиция «RGB gain» («RGB»)

Присутствует в дисплеях высокого класса.

Раздельно регулирует уровень максимальной интенсивности кардинальных стимулов по каждому из каналов в ответ на максимальное указание в файле изображения: 255 255 255. Технически осуществляется за счет раздельного усиления сигнала контроллерами дисплея по каждому каналу.

На графике (рис. 41) показано, к чему приводит изменение значений «RGB gain» («RGB»).

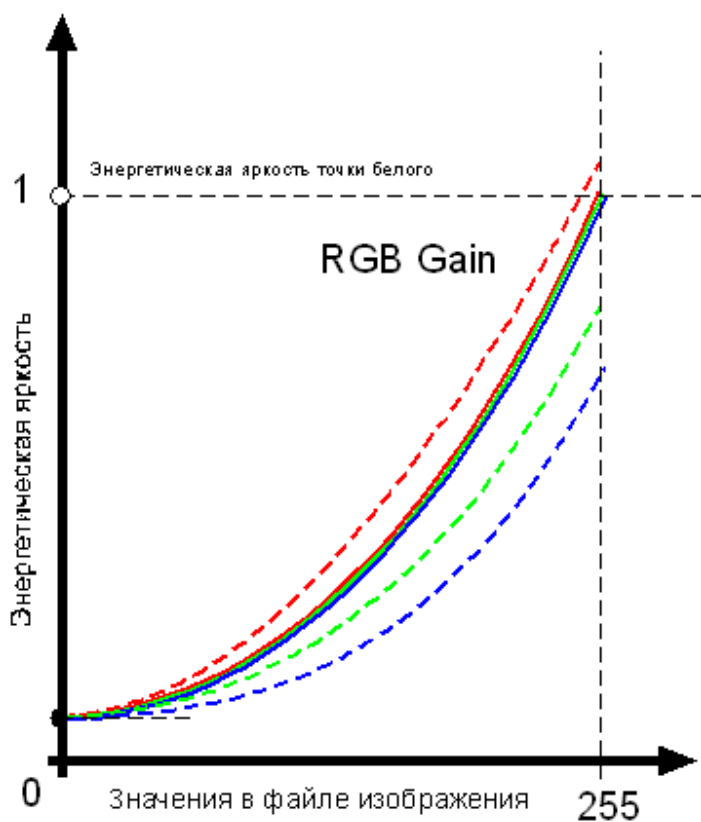


Рис. 41.

Данная настройка является параметром, определяющим цветовую температуру и энергетическую яркость опорного белого света (белую точку монитора).

Высококласные дисплеи наряду с «RGB gain» («RGB») имеют упрощенный вариант данной настройки, обозначаемый как «Color Temperature».

«Color Temperature» содержит набор дискретных вариантов соотношения интенсивности кардинальных стимулов. Количество шагов колеблется от 3 (соответствующих цветовым температурам 5000К, 6500К и 9300К) до 43 шагов (в этом случае пользователь может выбрать нужное соотношение в диапазоне от 5000К до 9300К с шагом в 100К). Несмотря на то, что производитель должен гарантировать соответствие данных цифр реальной цветовой температуре белой точки при уровне ее светимости 100

cd/m<sup>2</sup>, на практике этого соответствия нет, а более или менее точная регулировка возможна только при использовании «RGB gain» («RGB»).

Дисплеи офисного класса позиции «RGB gain» («RGB») не имеют, а ограничиваются «Color Temperature» по двум-трем ступеням. Точная настройка цветовой температуры белой точки в них невозможна.

### Позиция «Contrast».

Присутствует во всех дисплеях.

Название «Contrast» унаследовано из телевизионной практики и, как будет показано ниже, лишь отчасти соответствует колориметрической сути данного параметра. Изменение аппаратных значений позиции «Contrast» приводит к изменению уровня энергетической яркости опорного белого света (белой точки монитора) за счет синхронного изменения максимальной интенсивности кардинальных стимулов, то есть сохраняя соотношение их интенсивностей в ответ на максимальное значение в файле изображения (255 255 255). Технически осуществляется за счет синхронного усиления сигнала контроллерами дисплея по каждому каналу.

В практике настройки высококлассных дисплеев зона постоянства цветовой температуры при изменении значений «Contrast» лежит в пределах 60-110 cd/m<sup>2</sup>.

На графике (рис. 42) показано, как влияет изменение значений «контраста» на энергетическую яркость белой точки.

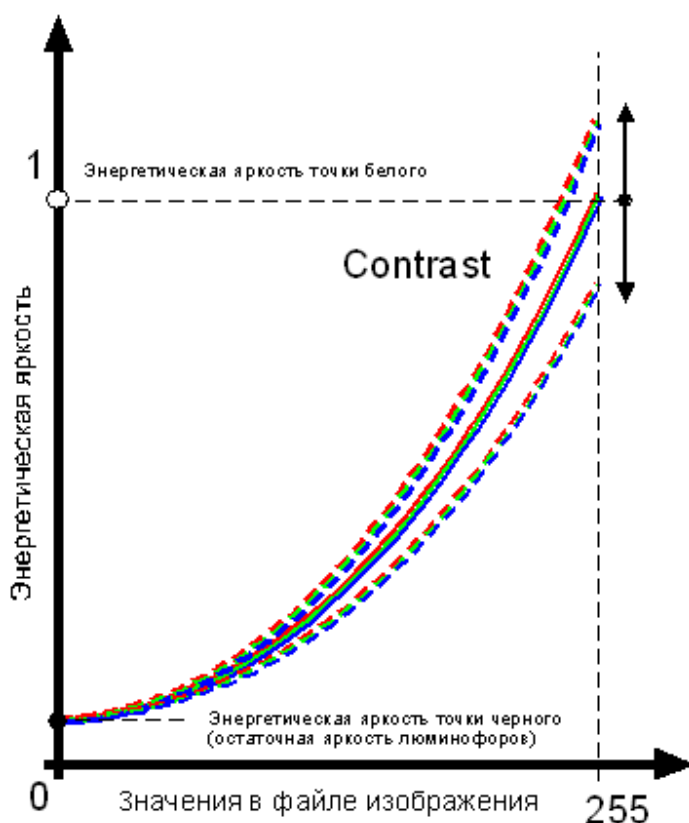


Рис. 42.

### Примечание:

Изменение энергетической яркости белой точки (яркости опорного белого света) при постоянстве уровня яркости черной меняет общий энергетический контраст монитора. Отсюда у данной настройки и

родилось название «Contrast». По ряду сведений в продаже начали появляться аппараты, где термин «Contrast» заменен на более точный термин «White point level».

### Позиция «Brightness»

Присутствует во всех дисплеях. Название унаследовано из телевизионной практики, но колориметрически совершенно некорректно.

Позиция «Brightness» («Яркость») позволяет синхронно перемещать диапазон всех возможных яркостей дисплея вверх и вниз, меняя как максимальную, так и остаточную яркость свечения люминофоров. Технически осуществляется за счет синхронного смещения сигнала контроллерами дисплея по каждому каналу.

На графике тонопередачи (рис. 43) показано, к чему приводит изменение значений «Brightness».

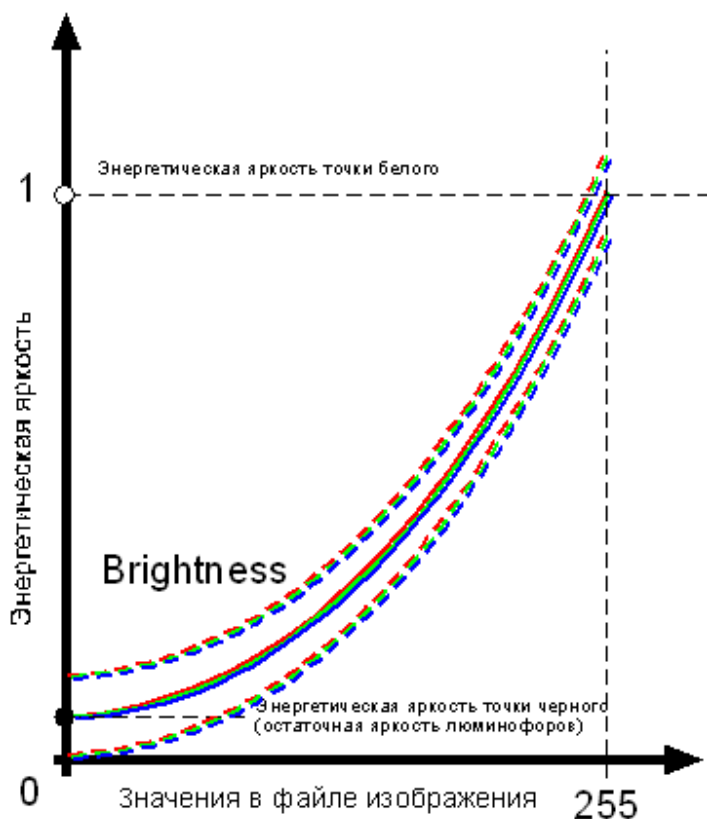


Рис. 43.

Изменение значения «Brightness» («Black point level») определяет, с одной стороны, уровень светимости черной точки дисплея (остаточную яркость) и (вместе с изменением значений «Contrast») радикально влияет на энергетический контраст монитора. С другой стороны, регулировка «Brightness» призвана обеспечить различимость деталей в глубоких тенях изображений.

Регулировка «Brightness» не должна приводить к изменению соотношений остаточной яркости люминофоров, то есть к изменению соотношения минимальной интенсивности кардинальных стимулов колориметра. Это означает, что изменение уровня «Brightness» в широком диапазоне значений не должно приводить к появлению в черной точке сильно

выраженного хроматического компонента. В целом высококлассные дисплеи удовлетворяют данному требованию.

### Позиция «RGB bias»

Доступна в некоторых профессиональных моделях дисплеев, к примеру таких, как SONY GDM серии F. Некоторые модели фирм CTX и Mitsubishi содержат «RGB bias» в т.н. инженерных настройках, которые становятся доступны пользователю лишь при введении определенного шифра с передней панели (к примеру включение дисплея при одновременно нажатых клавишах яркости и контраста). Большинство дисплеев не имеют на передней панели доступа к «RGB bias».

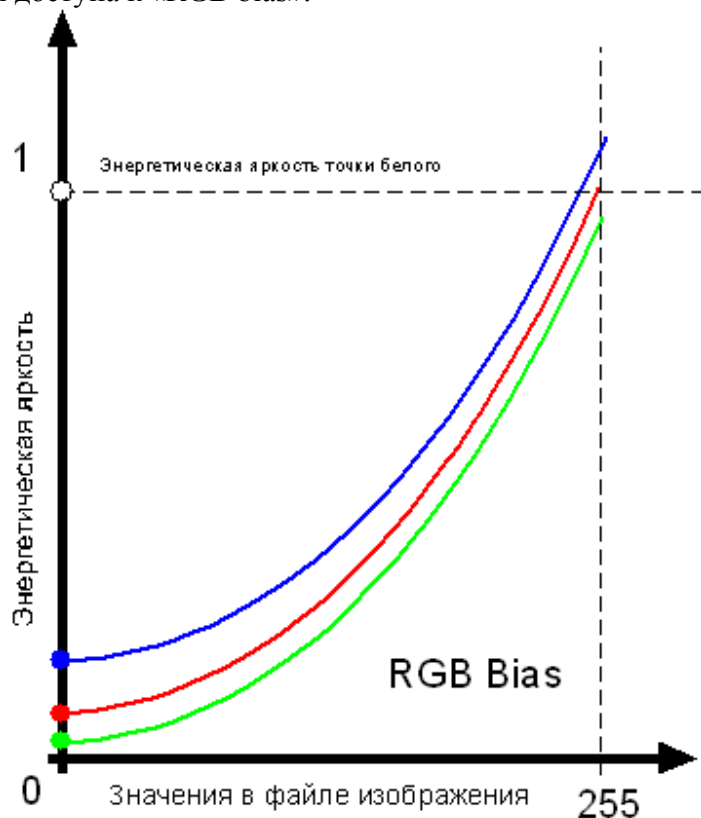


Рис. 44.

Позиция «RGB bias» позволяет **раздельно** для каждого стимула перемещать диапазон всех возможных яркостей вверх и вниз, меняя как максимальную, так и остаточную яркость свечения люминофоров. Технически осуществляется за счет раздельного смещения сигнала контроллерами дисплея по каждому каналу.

Настройка «RGB bias» — прерогатива производителя дисплея, и именно этому параметру фирмы уделяют особое внимание. При настройке высококлассных аппаратов мы рекомендуем позиции «RGB bias» оставлять данными по умолчанию и вмешиваться в них только тогда, когда есть уверенность в необходимости такого вмешательства, к примеру, когда эти настройки случайно изменены неопытным пользователем или когда заводские установки не обеспечивают нейтральность черной точки устройства.

### Примечание1:

Как мы уже говорили, все перечисленные параметры взаимно влияют друг на друга. Например, повышение энергетической яркости черной точки (изменение «Brightness») приводит к увеличению энергетической яркости белой точки; изменение минимальной энергетической яркости в одном из каналов

(регулировка «RGB bias») приводит к изменению максимальной энергетической яркости в этом канале, в результате чего меняются и цветность и энергетическая яркость белой точки монитора. Поэтому требуемые параметры настройки достигаются методом последовательных приближений (как правило, два-три цикла).

**Примечание 2:**

В комплект поставки современных дисплеев производства Nec-Mitsubishi входит бесплатная утилита NaviSet (ее также можно скачать с <http://www.necmitsubishi.com/naviset/>), которая позволяет производить интерактивную регулировку их аппаратных настроек. Информационный обмен дисплей-компьютер осуществляется через стандартный VGA-кабель. После установки программы в Display Properties появляется дополнительная закладка «Monitor Adjustment» (рис. 45).

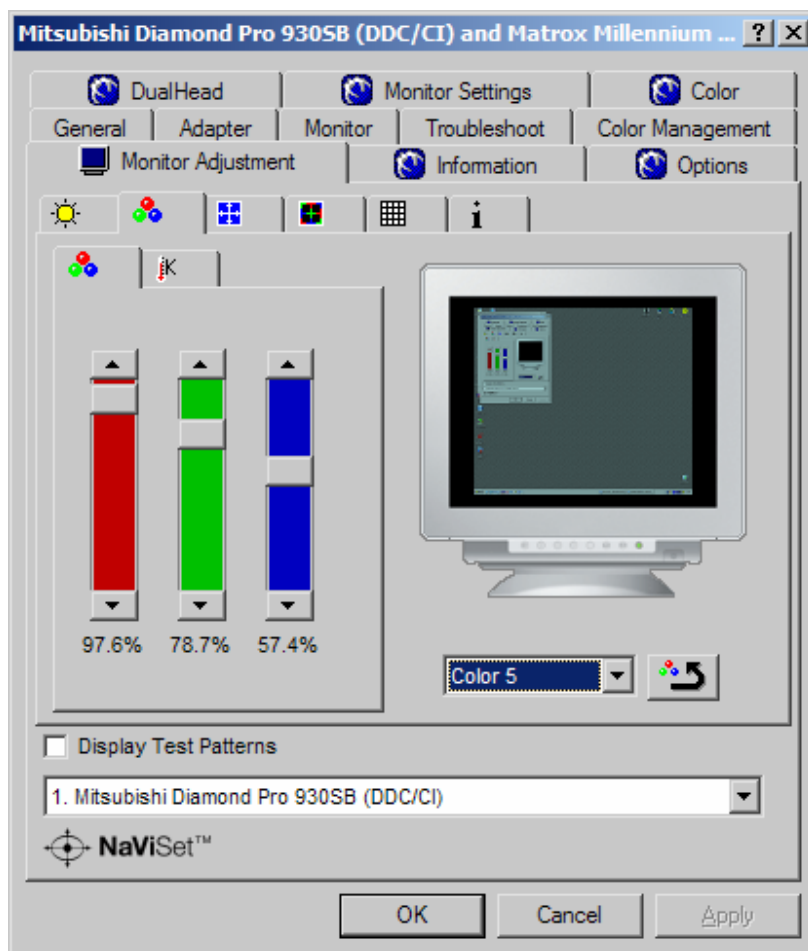


Рис. 45. Интерфейс утилиты NaviSet.

### LCD-дисплеи

Видеосистема с LCD-дисплеем, так же как и видеосистема с CRT-дисплеем, отвечает требованиям трехстимульного визуального колориметра, но пока еще несколько уступает последней по качеству кардинальных стимулов (менее ровный спектр, не всегда пропорциональное изменение интенсивности), а также имеет слишком высокий уровень светимости черной точки, что при стандартной (по ISO) светимости белой точки не обеспечивает достаточный энергетический контраст монитора. К тому же из-за несовершенства технологии многие дисплеи не в состоянии обеспечить хроматическую нейтральность черной точки и глубоких теней, а также постоянство яркости пикселей по



всему полю экрана, что особенно заметно на темных заливках. Чаще всего черная точка и глубокие тени имеют выраженный синий сдвиг (рис. 46).

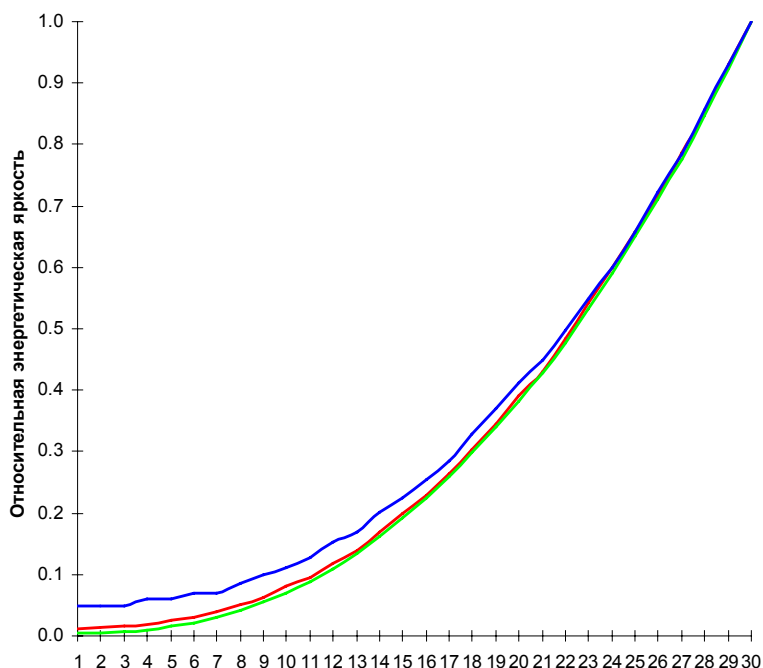


Рис. 46. Графики нелинейности энергетической яркости кардинальных стимулов монитора с дисплеем Eizo GC-18 (гамма 2,2) после одного года эксплуатации. Измерения были произведены сразу же после выполнения калибровки с гамма 2,2. Хорошо видно, что остаточная яркость «синего» кардинального стимула в 5 раз выше, чем энергетическая яркость двух других.

**Важное примечание:**

Из сугубо коммерческих соображений подавляющее большинство компаний прекратило производство высококачественных CRT-дисплеев. Следует отметить, что только самые дорогостоящие (\$2000-3500) LCD-дисплеи могут обеспечить **колориметрическое качество** на уровне CRT-дисплеев **среднего** класса. Тем, кто решает вопрос выбора дисплея для профессиональной работы с изображениями, настоятельно рекомендуем воспользоваться пока еще имеющейся возможностью и приобрести высококачественный CRT-дисплей SONY GDM F-520, Mitsubishi Diamond Pro 2070SB, Mitsubishi Diamond Pro 930SB, или LaCie 22" electronblue IV (производства Франции или Японии).

В LCD-дисплеях кардинальные стимулы образуются за счет прохождения белого света через «RGB»-фильтры, а их интенсивность регулируется хроматически нейтральными жидкими кристаллами за счет изменения угла поляризации RGB-лучей перед проходом их через общий поляризационный фильтр (рис. 47). То есть, интенсивность кардинальных стимулов может только *понижаться* от некоего максимального значения, задаваемого источником белого света.

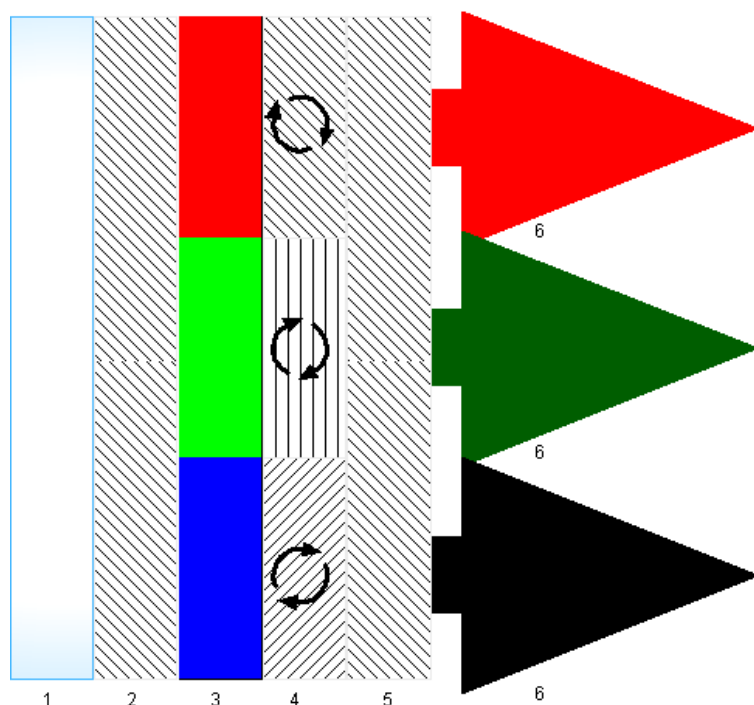


Рис. 47. Принципиальная схема LCD-дисплея. 1 — источник белого света; 2 — первый поляризационный фильтр; 3 — «RGB»-фильтры; 4 — жидкие кристаллы, меняющие угол поляризации; 5 — общий поляризационный фильтр; 6 — результирующая интенсивность кардинальных стимулов при разных углах поляризации.

#### **Позиция «Brightness»**

Синхронно перемещает диапазон всех возможных яркостей дисплея вверх и вниз за счет изменения яркости источника белого света.

#### **Позиция «Contrast»**

Одновременно понижает максимальную яркость всех трех кардинальных стимулов от максимально возможной за счет синхронного изменения начального угла поляризации жидких кристаллов для каждого канала.

#### **Позиция «RGB gain» («RGB»)**

Раздельно регулирует уровень максимальной интенсивности кардинальных стимулов по каждому из каналов в ответ на максимальное указание в файле изображения: 255 255 255. Технически осуществляется за счет раздельного изменения начального угла поляризации жидких кристаллов для каждого канала.

#### **Позиция «RGB bias»**

В LCD-дисплеях отсутствует.

## **Калибровка монитора с помощью Profile Maker 5.x.x**

Из всех существующих программ пакет Profile Maker 5.x.x предлагает наиболее развитый механизм, учитывающий задачи пользователя. Основным преимуществом Profile

Maker является то, что на сегодняшний день только эта программа позволяет настраивать монитор как полифункциональную систему, а также то, что, в отличие от большинства других программ, при гамма-приводке Profile Maker 5.x.x ориентируется не на измерение градиента энергетических яркостей каждого кардинального стимула в отдельности, а на измерение «нейтрального» градиента. Такое измерение, с одной стороны, позволяет выполнить приводку системы к требуемой гамма, с другой — удерживать нейтраль относительно выбранной белой точки по всему диапазону, несмотря на определенную хроматическую нестабильность кардинальных стимулов.

### **Калибровка монитора с CRT-дисплеем, как полифункциональной системы**

Программный пакет Profile Maker 5.x.x строит логику калибровки данного типа видеосистемы по следующему принципу:

— *основная калибровка*, осуществляемая по параметрам, которые предлагаются программой по умолчанию. Установка предлагаемых колориметрических параметров производится за счет OSD-панели при поддержке измерительного прибора, гамма-приводка осуществляется за счет LUT видеоадаптера;

— *возможные дополнительные калибровки (пользовательские)*, осуществляемые **только за счет управления LUT**, на основании измерений, выполненных при основной калибровке.

Параметрами основной калибровки являются:

1. Максимально возможная энергетическая яркость белой точки, граничащая с зоной насыщения дисплея, но не достигающая ее.
2. Цветовая температура белой точки 6500К.
3. Минимально возможная энергетическая яркость черной точки при которой, с одной стороны, в глубоких тенях изображений остаются различимыми детали, с другой — минимален ее хроматический компонент.
4. Требуемая гамма монитора.

#### **Примечание:**

В программе по умолчанию установлена гамма 1,8, к которой с помощью LUT видеокарты будет приведена нелинейность видеосистемы. Пользователям PC нужно сразу выбрать значение 2,2.

Данные параметры позволяют обеспечить соответствие видеосистемы стандарту ISO 3664 и «выжать» из нее как из самостоятельного цветовоспроизводящего устройства максимум возможностей.

Любое дальнейшее желаемое изменение параметров монитора-колориметра производится за счет регулировки уровня сигнала, подаваемого с видеокарты, при условии неизменности OSD-настроек дисплея.

LUT видеокарты управляем программно, что обеспечивает удобство работы при необходимости быстрой смены параметров основной калибровки на параметры пользовательской калибровки. К примеру, в течение двух-трех минут можно изменить энергетическую яркость и цветовую температуру (цветность) белой точки, визуальную уравнивая ее с яркостью и цветностью субтрактивного носителя (бумаги), освещенного светом просмотрочного места. Загрузив же специальный файл настроек (reference), можно в течение секунды корректно поменять все параметры основной калибровки монитора-колориметра на параметры пользовательской (за исключением параметров черной точки, которые всегда остаются неизменными, что является недостатком программы). То есть, полифункциональная система дает возможность моментально превращать монитор из самостоятельного

цветовоспроизводящего устройства в цветопробное устройство или в слайдскан-визуализатор, а затем возвращаться назад (рис. 48).



Рис. 48.

Основные и пользовательские калибровочные настройки могут быть выполнены как с помощью функции «Monitor» программы Measure Tool пакета Profile Maker 5.x.x, так и с помощью самого Profile Maker. Мы рекомендуем пользоваться Measure Tool, так как после выполнения калибровки, перед началом измерений патчей характеристики, желателен контроль результата калибровки. При использовании ProfileMaker возможности контроля нет, так как промер патчей характеристики начинается автоматически, сразу после окончания калибровки.

Желательно, чтобы процедура основной калибровки осуществлялась в полной темноте во избежание «паразитной» подсветки дисплея посторонними источниками.

После подключения измерительного устройства и запуска Measure Tool\ Monitor на экране появляется интерфейс *первого «степя»* процедуры основной калибровки (рис. 49).

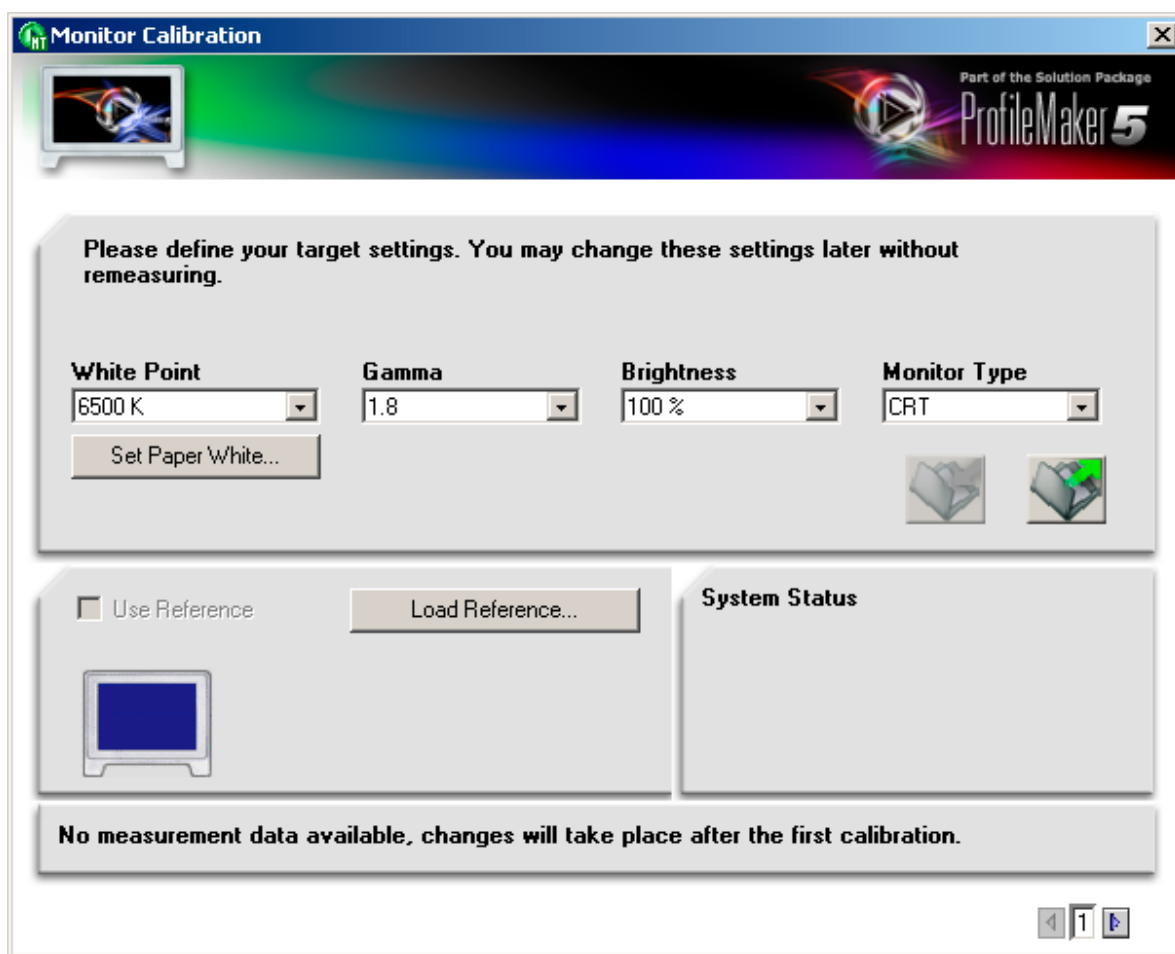


Рис. 49. Первый «шаг» процедуры калибровки.

В списке «White Point» цветовая температура белой точки по умолчанию указана 6500K (согласно рекомендациям ISO 3664 по настройке мониторов как самостоятельных устройств), к этой температуре будет приведен монитор с помощью «RGB gain» при поддержке четвертого «шага» программы.

В списке «Gamma» по умолчанию установлена гамма 1.8, к которой с помощью LUT видеокарты будет приведена нелинейность видеосистемы. Напомним, что пользователям PC нужно выбрать значение 2,2.

В списке «Brightness», вопреки терминологии, принятой в телевизионной и компьютерной практике, позиция «100%» указывает на то, что при основной калибровке энергетическая яркость белой точки останется равной той, что будет установлена при настройке аппаратной позиции «Contrast» (третий «шаг»).

В списке «Monitor Type» следует выбрать тип дисплея: CRT (электронно-лучевая трубка).

Об использовании кнопок «Set Paper White», «Load reference» и флажка «Use reference» речь пойдет ниже, так как они используются только при повторном вызове первого «шага».

*Второй «шаг»* — интерфейс настройки максимально возможной энергетической яркости белой точки («Contrast») (рис. 50).



Рис. 50. Второй «шаг» процедуры калибровки.  
 (Показано наиболее удобное позиционирование измерительного прибора i1 Display II при настройке мониторов с CRT-дисплеями.)

Принцип работы этого «шага» основан на том, что программа (под контролем измерительного устройства) «ловит» нижнюю границу т.н. зоны насыщения дисплея по белой точке. Внутри зоны насыщения дисплей не реагирует на изменение сигнала, поступающего с видеокарты, то есть изменение сигнала от максимального (255 255 255) и ниже (до некоей границы) не приводит к изменению энергетической яркости белой точки и, соответственно, не приводит к изменению ощущения ее светлоты (рис. 51).

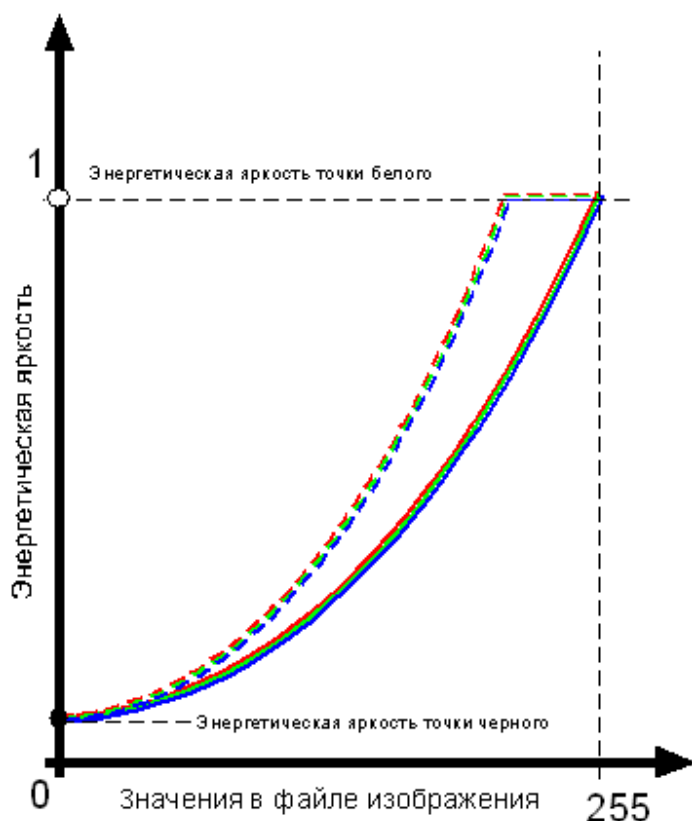


Рис. 51. Сплошная линия — тонопередающая кривая дисплея, не достигшего зоны насыщения по белой точке. Пунктир — тонопередающая кривая дисплея, достигшего зоны насыщения по белой точке.

Позицию «Contrast» следует выставить на максимальное значение и нажать кнопку «Start».

**Примечание:**

Пользователи видеосистем с дисплеями Nec-Mitsubishi могут воспользоваться утилитой NaviSet, позволяющей проводить интерактивную регулировку аппаратных настроек дисплея и не испытывать неудобств из-за недостатка внешнего освещения; некоторое неудобство создает необходимость регулярного переключения между интерфейсами программ с помощью клавиш Alt+Tab).

Программа последовательно выдаст на экран два светлых патча: первый, заданный значениями 242 242 242; второй, заданный значениями 255 255 255.

Если измерительное устройство не определит достаточной яркостной разницы между ними, то это означает, что дисплей по белой точке достиг зоны насыщения и верхняя контрольная стрелка Quality Indicator уйдет вправо.

Значения «Contrast» в этом случае понижают до тех пор, пока нижняя и верхняя стрелки Quality Indicator не совпадут. Понижение должно быть плавным и очень медленным, поскольку программа дает прибору команду на непрерывную серию замеров (время одного замера около 1 сек). При быстром понижении легко «прозевать» нижнюю границу зоны насыщения, уйти ниже и потерять из-за этого часть энергетического контраста монитора.

В то же время большинство CRT-дисплеев даже при максимальном значении позиции «Contrast» не достигает зоны насыщения, в высоких светах изображений остаются различимыми детали, а стрелки Quality Indicator после первого же замера чаще всего оказываются совпавшими.

*Третий «стен»* — «Brightness» («Яркость»). Фактически — это интерфейс настройки черной точки дисплея.

Принцип настройки, как уже было сказано выше, основан на том, что с помощью измерительного устройства программа ищет оптимальное значение энергетической яркости черного поля (черной точки) при которой, напомним, соблюдаются два условия: появление устойчивой различимости деталей в глубоких тенях изображений и сохранение максимально возможной хроматической нейтральности.

Если целиком следовать указаниям программы, то пользователь должен выставить аппаратную позицию «Brightness» («Яркость») на передней панели дисплея в минимальное положение, нажать кнопку «Start», а затем, плавно повышая значения «Brightness», добиться совмещения нижней и верхней стрелок Quality Indicator. В этом случае, как правило, достигается значение энергетической яркости черной точки 0,2–0,6 cd/m<sup>2</sup>, что при энергетической яркости белой точки 100 cd/m<sup>2</sup> обеспечит энергетический контраст монитора 2,6–2,2D. Такие значения энергетического контраста легко обеспечат полноценный визуальный контраст, позволят организовать экранную цветопробу печатных процессов, то есть окажутся вполне достаточными для тех случаев, когда заранее известно, что видеосистема не будет использована как слайдскан-визуализатор.

Если предполагается использование системы в том числе и как слайдскан-визуализатора, то для достижения максимального энергетического контраста, при котором еще сохраняется (или лишь слегка снижается) различимость в глубоких тенях изображений, мы рекомендуем доводить индикатор только до появления желто-зеленой стрелки<sup>20</sup> (рис. 52), тогда энергетическая яркость черной точки окажется в районе 0,1–0,12 cd/m<sup>2</sup>, что обеспечит энергетический контраст монитора (при яркости белой точки 100 cd/m<sup>2</sup>) 3,0–2,9D.

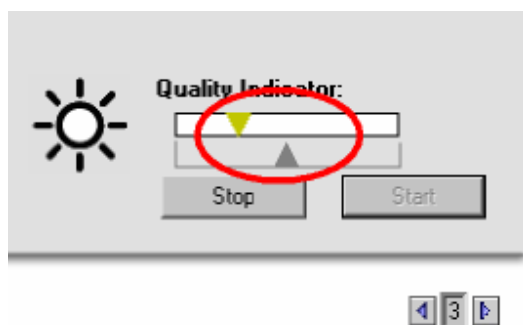


Рис. 52. Примерное положение Quality Indicator, обеспечивающее допустимый минимум энергетической яркости черной точки.

Нельзя забывать о том, что измерительные приборы дают сильную погрешность измерений в глубоких тенях изображений, из-за чего положение стрелки Quality Indicator может оказаться нестабильным. В этом случае необходимо визуально оценить ее среднее местоположение.

**Примечание:**

В случае, если при цветовой температуре белой точки 5000K ее яркость окажется в районе 120–140 cd/m<sup>2</sup> (формально не соответствует ISO 3664), энергетический контраст при данной методике может выйти на 3,07–3,15D, что уже близко к энергетическому контрасту слайда. Поэтому, если монитор используется только для визуализации сканированных слайдов, в особенности если требуется регулярная демонстрация результатов сканирования заказчикам, мы рекомендуем устанавливать в видеосистеме CRT-дисплей с Super Bright-режимом работы. Нужно помнить при этом, что Super Bright-режим чаще всего не подчиняется регулировке RGB-gain.

<sup>20</sup> Цвет стрелки задается программой за счет R193 G198 B0.



Четвертый «стен» («White Point» — «Белая точка») — интерфейс аппаратной настройки цветовой температуры белой точки при помощи «RGB gain» передней панели дисплея.

После нажатия кнопки «Start» программа производит последовательное измерение четырех патчей, задаваемых соответственно значениями 255 0 0, 0 255 0, 0 0 255 и 255 255 255. Колориметрические данные промеров не отображаются (отображается только величина светимости белой точки в  $\text{cd}/\text{m}^2$  — Current Luminance), но они необходимы программе для расчета позиций контрольных стрелок Recommended Adjustment.

Позиции контрольных стрелок Recommended Adjustment подсказывают пользователю направление движения ползунков «RGB gain» на передней панели дисплея для достижения цветовой температуры 6500K.

Критерием попадания в 6500K является не числовое значение, отображаемое в Current Temperature (оно имеет точность  $\pm 100\text{K}$ ), и даже не появление флажка в зеленом кружке, а точное расположение контрольных стрелок Recommended Adjustment на одной вертикальной линии (рис. 53).



Рис. 53.

Если в дисплее нет «RGB gain», а есть только упрощенный вариант «Color Temperature», то нужно попытаться, двигая его ползунок, привести стрелки Recommended Adjustment к одной вертикальной линии настолько близко, насколько это возможно.

В данном степе также важны строки «Current Luminance», «Expected Luminance» и флажок «Desired Luminance».

Строка «Current Luminance» (текущая энергетическая яркость) информирует пользователя о том, какова энергетическая яркость белой точки в данный момент.

Строка «Expected Luminance» (предполагаемая энергетическая яркость) информирует пользователя о том, какова будет энергетическая яркость белой точки, когда пользователь добьется желаемой цветовой температуры, манипулируя «RGB gain». Когда желаемая цветовая температура будет достигнута, значение «Expected Luminance» станет равно «Current Luminance».

Флажок «Desired Luminance» (требуемая энергетическая яркость) дает возможность достичь нужного значения за счет «RGB Gain» — то есть аппаратно. При настройке монитора как полифункциональной системы этот флажок должен быть снят. Пользоваться данной услугой следует только при настройке монитора с фиксированными параметрами настройки (см. ниже).

*Пятый «степ»* — последовательный промер серии цветowych патчей и приведение зависимости изменения интенсивности кардинальных стимулов к степенной функции.

После нажатия кнопки «Start» программа последовательно выдает на экран серию из 14 контрольных патчей, заданных следующими соотношениями интенсивности кардинальных стимулов:

255 0 0	Колоранты		
0 255 0			
0 0 255			
0 0 0	«Черный»		
25 25 25	«Серые»		
51 51 51			
76 76 76			
102 102 102			
127 127 127			
153 153 153			
178 178 178			
204 204 204			
229 229 229			
255 255 255		Белый	

По завершении промеров выполняется расчет и внесение изменений в LUT видеокарты.

В результате этих изменений:

- общая гамма нелинейности видеосистемы приводится к требуемому значению;
- обеспечивается реальная хроматическая нейтральность «серого» градиента.

Сразу же после основного замера автоматически выполняется контрольный замер белой и черной точек, а также «серых» патчей, и вносятся уточнения (optimizing). По завершении оптимизации в LUT вносятся окончательные значения.

Затем программа предлагает вернуться к первому «степу».

**Важное примечание:**

Если дисплей видеосистемы имеет доступный пользователю RGB bias, то настоятельно рекомендуем по завершении основной калибровки:

1. Полностью затемнить помещение, вызвать на экран Nokia Test\Brightness and Contrast, адаптироваться в течение 3-5 минут и убедиться в том, что фон и поле 1% *визуально* хроматически нейтральны. Необходимость визуального контроля продиктована тем, что инструментальный контроль не дает достоверной колориметрической информации, т.к. точность измерительных приборов резко падает в зонах низких световых энергий.

В результате выполненной инструментальной LUT-коррекции серая шкала страницы Brightness and Contrast практически на всем протяжении (за исключением глубоких теней) хроматически нейтральна, что задает устойчивую адаптацию, при которой любые хроматические сдвиги черной точки и глубоких теней становятся отчетливо видны.

2. Если есть необходимость, добиться полной *визуальной* хроматической нейтральности фона (черной точки) и поля 1%, манипулируя аппаратными значениями RGB bias и следя за тем, чтобы поле 1% оставалось визуально различимым.

3. Повторить все шаги основной калибровки, кроме первого и третьего (черная точка).

Прежде чем говорить о том, зачем нужен возврат к первому «степу», необходимо объяснить, за счет чего происходит редактирование LUT и приведение монитора к требуемой гамма.

Изменения в LUT видеокарты вносит программа-загрузчик LUT, или, как ее еще называют, «загрузчик калибровки» («Calibration Loader»). Файл загрузчика находится в C:\Program Files\GretagMacbeth\ProfileMaker Professional 5.x.x\Calibration Loader.exe и автоматически устанавливается в Startup (автозагрузка) операционной системы при инсталляции ProfileMaker. Однако рекомендуем проконтролировать появление загрузчика в Startup, а имеющиеся загрузчики, в частности AdobeGammaLoader, обязательно удалить.

**Примечание 1.**

До появления версии Profile Maker 4.1.5 загрузчик калибровки ориентировался на данные колориметрических промеров приведенных выше контрольных патчей. Данные промеров фиксировались (и фиксируются по сей день) в системном реестре Windows (HKEY\_CURRENT\_USER\Software\Logo\LogoCalibration\MoniCalibration\MonitorID0\Colors). Всякий раз при старте операционной системы программа-загрузчик обращалась к системному реестру, прочитывала данные промеров, рассчитывала изменения, которые необходимо внести в LUT, и затем вносила их.

От версии Profile Maker 4.1.5 и выше (Profile Maker 5.x.x) загрузчик калибровки может выполнять описанную процедуру, но вначале он обращается к активному профайлу монитора:

— если в профайле содержится vcgt, содержащий уже рассчитанные изменения LUT (см. главу «Профайл монитора и его содержимое»), загрузчик прочитывает их и загружает;

— если в профайле не содержится vcgt (к примеру, когда в качестве активного профайла используется sRGB), то изменения для LUT будут рассчитаны загрузчиком исходя из данных реестра.

Все расчеты выполняются в 16 битах, а от разрядности видеокарты зависит то, как они будут прочитаны: в 8-ми или в 10-битном варианте.

В системах Macintosh загрузчик в явном виде не используется, а данные LUT извлекаются из vcgt профайла, о чем пользователя информирует сообщение, показанное на рис. 54.

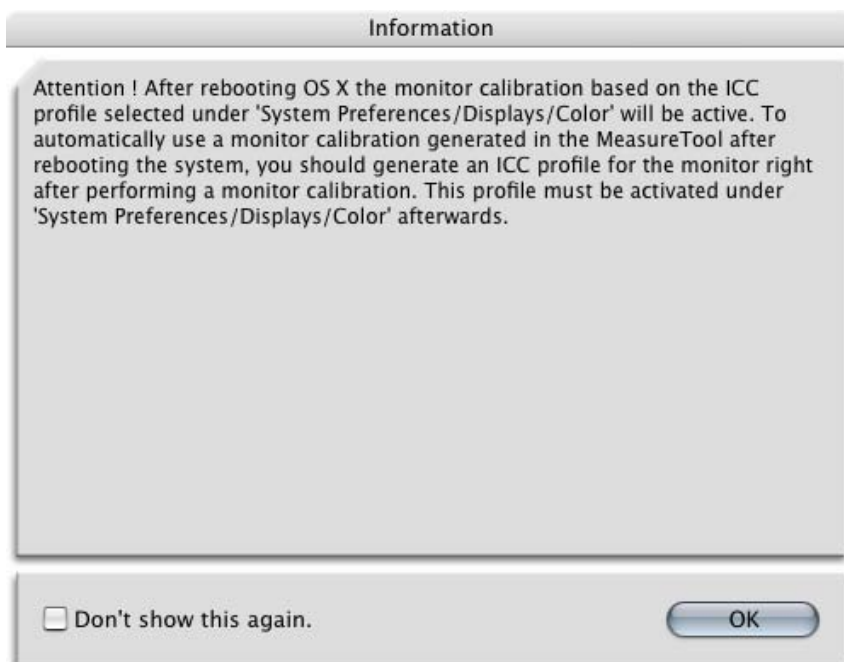


Рис. 54.

**Примечание 2.**

Напомним, изменение интенсивности кардинальных стимулов некалиброванного монитора с дисплеем высокого класса в целом описывается степенной функцией, но величина  $\gamma$  при этом может колебаться в пределах 1,9-2,8 (рис. 55).

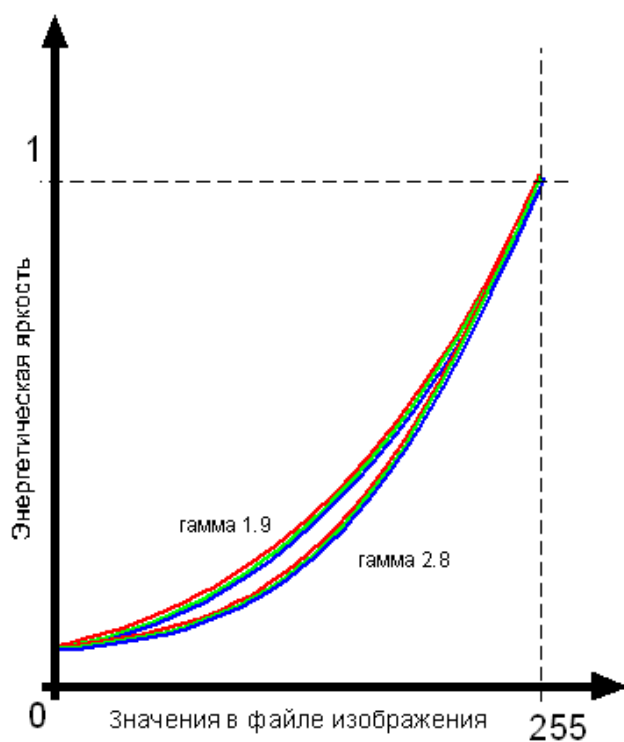


Рис. 55.

Изменение интенсивности кардинальных стимулов некалиброванного монитора с дисплеем низкого класса не описывается степенной функцией, поэтому кривые энергетической яркости по каждому кардинальному стимулу могут иметь вид, лишь слегка напоминающий степенной график (рис. 56).

С помощью «Gamma Tester» утилиты Color Lab 2.77 можно узнать, какая степенная функция имеет наибольшее приближение к кривым, описывающим реальную нелинейность монитора. Степень этой функции и будет т.н. Native Gamma («врожденная» гамма).

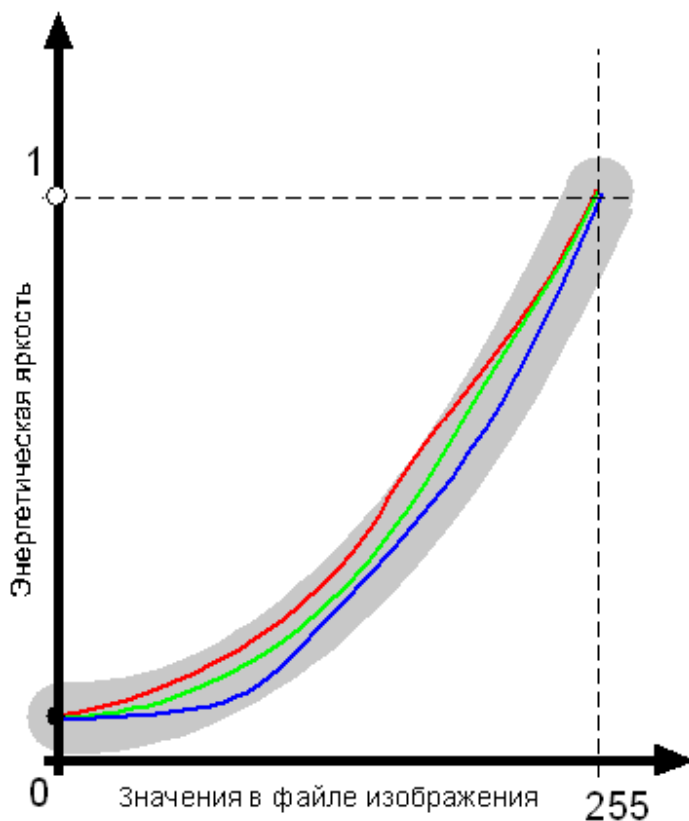


Рис. 56. Серой линией обозначена степенная кривая, имеющая наибольшее приближение к кривым, описывающим реальную нелинейность монитора.

**Примечание 3:**

С помощью утилиты «Calibration Tester» можно отследить изменения, вносимые в LUT видеокарты после калибровки. Расчеты коррекции LUT, выполненные загрузчиком, будут показаны в 16-битном представлении в двух вариантах: в виде графика (слева) и в виде собственно таблицы (справа) (рис. 57).

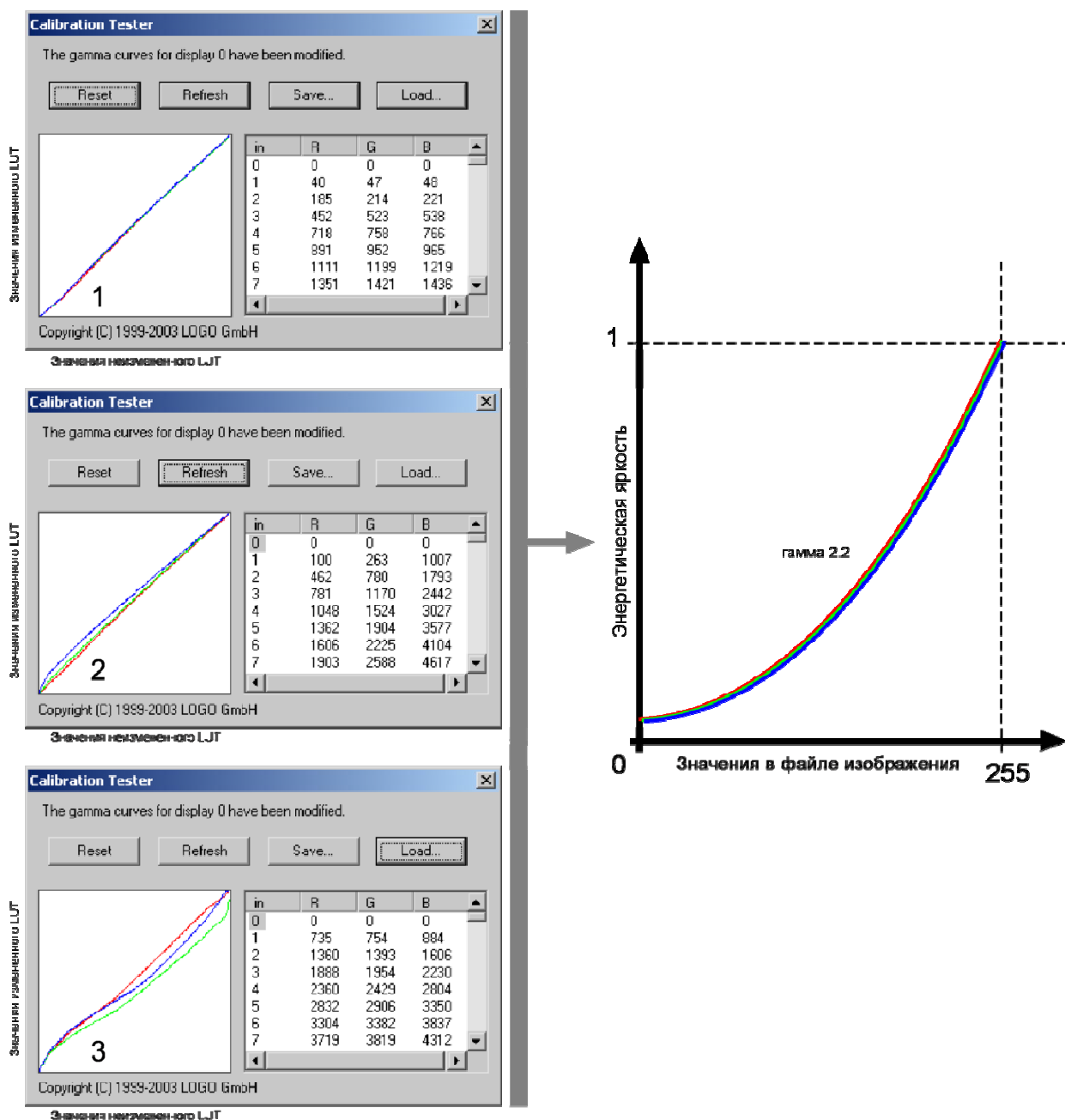


Рис. 57. Кривые LUT видеосистемы с высококлассным CRT-дисплеем SONY GDM F520 (1), кривые LUT видеосистемы с CRT-дисплеем среднего класса Iiyama VisionMaster Pro 451 (2), кривые LUT видеосистемы с LCD-дисплеем низкого класса ViewSonic VE700 (3), приводящие видеосистемы к функции нелинейности изменения интенсивности кардинальных стимулов  $\gamma=2,2$ . Из графиков хорошо видно, что для приведения второй и третьей видеосистем к  $\gamma=2,2$  потребовались выраженные изменения LUT, но *результат* настройки одинаковый во всех трех случаях (показан на правом графике).

Особое внимание обращаем на то, что **графики слева не являются графиками тонопередачи мониторов**: по оси абсцисс отложены значения, посылаемые на видеокарту операционной системой, от 0 до 255 (65535); по оси ординат — значения измененного LUT в том же диапазоне. **Данные графики и таблицы демонстрируют характер изменений, вносимых в LUT, и не более того.**

Итак, возврат к первому «шагу» необходим для того, чтобы сохранить основные калибровочные настройки монитора в виде текстового референса, воспользовавшись кнопкой «Стрелка в папку».

На этом основная калибровка монитора как полифункциональной системы заканчивается. Теперь можно приступать к созданию пользовательских настроек, при котором дополнительные инструментальные измерения уже не потребуются.

Для создания пользовательских настроек первый «шаг» позволяет:

- программно уравнивать цветовую температуру (цветность) и светлоту белой точки со светлотой и цветностью эталонной белой поверхности, освещенной лампой просмотрового места. Методику такого уравнивания мы рассмотрим ниже;

- сохранить полученные настройки (пользовательские) в виде текстового референса.

Текстовый референс, в котором оператор сохраняет основные и пользовательские калибровочные настройки монитора, содержит параметры двух категорий.

**Информационные параметры:**

- данные о координатах XYZ опорного белого света, с которым была уравнена белая точка монитора (6500K);

- величина гамма, к которой была приведена функция изменения интенсивности кардинальных стимулов (2,2);

- цветовые координаты измеренных патчей в системе CIE XYZ, на основании которых загрузчик рассчитывает данные для поправок, вносимых в LUT.

**Исполняемые (пользовательские) параметры:**

- данные о пользовательских (*требуемых*) характеристиках белой точки и о величине гамма.

Исполняются при загрузке референса (кнопка «Load Reference»). Необходимые показатели достигаются только за счет изменений в LUT видеокарты.

Пользователь может произвести программную настройку белой точки монитора в разных вариациях: с разным уровнем энергетической яркости, разной цветовой температурой (кнопка «White Point»), последовательно сохраняя каждый из вариантов отдельным текстовым файлом, то есть отдельным референсом.

При другом варианте действий однажды созданный референс редактируется в текстовом процессоре и каждая редакция сохраняется отдельным файлом.

Содержимое текстового референса и его расшифровка в таблице.

MonitorID0 = {			
Intensity =	0.95000000000000007	Исполняемый параметр	Доля интенсивности излучения белой точки от аппаратно-установленной интенсивности, достигаемая за счет LUT
Kelvin =	6500	Информационный параметр	Требуемая цветовая температура
Gamma =	2.2000000000000002	Исполняемый параметр	Требуемая гамма
hasLuminance	true	Информационный параметр	Указывает на то, задействованы (true) или нет (false) пользовательские настройки яркости.
targetLuminance	86.540000000000006	Информационный параметр	Целевая яркость

statusLuminance	86.540000000000006	Информационный параметр	Информирует пользователя о том, какова энергетическая яркость белой точки при данном значении Intensity
WhiteX =	82.819999999999993	Исполняемый параметр	Требуемые цветовые координаты белой точки монитора, достигаемые за счет LUT
WhiteY =	86.540000000000006		
WhiteZ =	79.290000000000006		
CustomX = CustomY = CustomZ =	95.040000000000006 100 108.89	Информационный параметр	Цветовые координаты пользовательской белой точки («Paper White») Для того чтобы эти параметры вступили в силу, необходимо заменить ими значения пользовательских цветовых координат белой точки (WhiteX =, WhiteY =, WhiteZ =), а затем перегрузить референс. Если кнопка «Set Paper White...» ни разу не была задействована, сюда прописываются цветовые координаты, соответствующие выбранной цветовой температуре 6500K.
whitePointType	2	Информационный параметр	Тип белой точки.
MonitorID =	0		
Version =	102	Информационный параметр	
Date =	29.05.2004	Информационный параметр	Дата
UseReference =	false	Информационный параметр	
ReferenceGamma =	2.2000000000000002	Информационный параметр	Гамма, к которой был приведен монитор
ReferenceKelvin =	6500	Информационный параметр	Цветовая температура белой точки, которая была выбрана при основной калибровке.
ReferenceX =	82.819999999999979	Информационный параметр	Абсолютные цветовые координаты, к которым была приведена белая точка монитора при основной калибровке.
ReferenceY =	86.539999999999992		
ReferenceZ =	79.290000000000002		
ReferenceHas Luminance	true		
ReferenceTarget Luminance	86.539999999999992		Энергетическая яркость белой точки при основной калибровке.
ReferenceDisplay Type	1		Тип дисплея, который был выбран при основной



			калибровке 1 — CRT 2 — LCD
ReferenceFile =	D:\Monitor_calibration_current\i1\Custom_29-05-04.txt	Информационный параметр	Путь к референсу
DisplayType	1	Информационный параметр	Тип дисплея, который был указан при пользовательской калибровке
LCDBrightnessMode	0	Информационный параметр	Вариант настройки яркости опорного белого света в видеосистемах с LCD-дисплеями.
Count =	14	Информационный параметр	Количество измеряемых патчей
RowLength =	3	Информационный параметр	
DataType =	1482250784	Информационный параметр	Тип данных. Информация сугубо служебного характера.
INSTRUMENTATION =	"Spectrolino"	Информационный параметр	Марка измерительного инструмента
MEASUREMENT_SOURCE =	"Illumination=Emission ObserverAngle=2° Filter=None"	Информационный параметр	Параметры измерения
Colors = {			
A1 =	42.7300 23.3700 2.2300	Первичные исполняемые параметры	Цветовые координаты контрольных патчей. Пользователь может вносить изменения в них, если считает, что измерения того или иного патча были выполнены неточно, или если хочет опосредованно редактировать содержимое LUT. Инструментом непосредственной редакции LUT является последняя версия CalibrationTester.
A2 =	27.3100 56.6200 9.3700		
A3 =	13.2300 6.9500 68.2100		
B1 =	0.3000 0.2800 0.2800		
B2 =	1.0200 1.0200 0.9400		
B3 =	2.9300 2.9600 2.6700		
C1 =	6.1200 6.2700 5.6400		
C2 =	10.8900 11.2700 10.2500		
C3 =	17.2900 17.9800 16.2900		
D1 =	26.0500 27.2200 24.8700		
D2 =	36.5300 38.2000 34.8700		
D3 =	49.7900 52.1300 47.6400		
E1 =	65.0200 68.0000 62.2600		
E2 =	82.8200 86.5400 79.2900		
}			

Загрузка текстового референса может быть выполнена по-разному, что приводит к разным результатам.

Загрузка при помощи кнопки «Стрелка из папки» выполняется при условии неизменности аппаратных настроек дисплея в случае переустановки операционной системы. При данном способе загрузки автоматически учитываются все параметры референса и все его

содержимое автоматически прописывается в системный реестр Windows. При этом восстанавливаются выбранные параметры основной калибровки монитора.

*Загрузка при помощи кнопки «Load Reference»* выполняется для установки параметров пользовательской калибровки. Данные промеров при этом игнорируются (они уже взяты из системного реестра), поэтому после переустановки операционной системы загрузка референса с помощью данной кнопки не приводит к изменениям в LUT, в системный реестр ничего не вписывается, а пользователь не видит никаких изменений на экране.

### **Калибровка монитора с CRT-дисплеем при фиксированных параметрах колориметрической настройки**

Калибровку видеосистемы с фиксированными параметрами выполняют тогда, когда хотят добиться максимально возможной точности цветовоспроизведения монитором. При данном варианте калибровки пользователь неизбежно жертвует полифункциональностью монитора-колориметра, т.к. выбранные параметры устанавливаются аппаратно, изменений в них не предполагается, и LUT в этом случае отвечает лишь за гамма-приводку системы.

Рассмотрим данную схему калибровки пошагово.

1. Измерение освещенности на просмотрном месте и цветовой температуры его лампы. По таблицам, приведенным ниже, определение яркостного эквивалента идеального диффузного отражателя. Установ в списке «White Point» первого «ступа» полученного значения цветовой температуры.

Если измерить цветовую температуру осветителя нет возможности, но истинность цветовой температуры осветителя, указанная в спецификации просмотрного места, не вызывает сомнений, то нужное значение заносится в список «White Point» первого «ступа».

2. *Первый «ступ»*. В списке «Gamma» устанавливается требуемая гамма. Список «Brightness» остается неизменным — 100%. «Display Type» — CRT.

3. *Второй «ступ»*. Выполняется так же, как и при полифункциональной калибровке.

3. *Третий «ступ»*. Выполняется в трех возможных вариантах:

— При настройке монитора как самостоятельного цветовоспроизводящего устройства третий ступ идентичен третьему ступу при полифункциональной калибровке.

— При настройке монитора как цветопробного устройства черная точка должна быть предварительно инструментально уравнена по энергетической яркости (или визуально по светлоте) с черной точкой тиражного оттиска.

— При настройке монитора как слайдскан-визуализатора черную точку необходимо вывести на минимально возможную энергетическую яркость, доведя Quality Indicator до желто-зеленой стрелки (рис. 52).

4. *Четвертый «ступ»*. В нем добиваются приведения цветовой температуры и энергетической яркости белой точки к требуемому значению при помощи «RGB Gain» и при поддержке позиции «Desired Luminance»: активируют флажок и задают нужное значение яркости в активном окошечке. Положение стрелок «Quality Indicator» укажет необходимое направление изменения интенсивности кардинальных стимулов (рис. 58).



Рис. 58.

5. *Пятый «step»* — последовательный промер серии цветowych патчей, приведение зависимости изменения интенсивности кардинальных стимулов с помощью LUT к степенной функции с заданной гамма, оптимизация результата.

6. Визуальный контроль колориметрического равенства белой точки монитора и белой поверхности на просмотром месте.

В случае ухода параметров белой точки монитора по цветности (который, как правило, не бывает значительным) можно вызвать первый «step» и внести поправки в «Paper White», а в случае ухода по светлоте — отредактировать строчку «Intensity» текстового референса (тонкая доводка). Доводка будет осуществлена за счет LUT, но изменения уже не будут значительными и практически не окажут влияния на качество цветовоспроизведения.

7. Сохранение референса калибровки.

## Особенности калибровки видеосистем с LCD-дисплеями

Наличие источника белого света в LCD-дисплеях делает схемы основной калибровки видеосистем данного типа несколько отличающимися от схем калибровки видеосистем с CRT-мониторами.

### Калибровка монитора с LCD-дисплеем (как полифункциональной системы)

1. *Первый «стен»* имеет лишь одну особенность — в «Display Type» следует выбрать «LCD».

2. *Второй «стен»* — интерфейс настройки максимально возможной энергетической яркости белой точки («Contrast») по нижней границе зоны насыщения. Общий для обоих типов дисплеев.

3. *Третий «стен»* (White Point — белая точка) — интерфейс аппаратной настройки цветовой температуры белой точки при помощи «RGB gain» передней панели дисплея. Регулировка интенсивности кардинальных стимулов происходит за счет изменения жидкими кристаллами угла поляризации кардинальных стимулов. Кардинальный стимул, плоскость поляризации которого перпендикулярна плоскости поляризации общего фильтра, имеет минимальную интенсивность, и наоборот: интенсивность кардинального стимула максимальна, если его плоскость поляризации параллельна плоскости поляризации общего фильтра.

4. *Четвертый «стен»* предлагает пользователю выбрать методику настройки энергетической яркости источника света LCD-дисплея. Для полифункциональных LCD-систем выбирают первый вариант (default), который реализуется пятым «ступенем».

5. *Пятый «стен»*. Идентичен настройке черной точки видеосистем с CRT-дисплеями. Ориентирован на обеспечение различимости деталей в глубоких тенях изображений.

Обращаем особое внимание на то, что уровень энергетической яркости и белой, и черной точек в LCD-дисплеях зависит от интенсивности свечения источника света. Интенсивность свечения регулируется за счет позиции «Bright» на передней панели дисплея. Поэтому при установке энергетической яркости черной точки по принятому критерию энергетическая яркость белой точки окажется аппаратно подчиненной.

О расчетном значении энергетической яркости белой точки пользователя проинформирует строчка «Expected Luminance». В дальнейшем, при возврате к первому «ступеню» энергетическую яркость белой точки можно регулировать (понижать) при помощи списка «Brightness» (LUT-регулировка) или за счет редакции текстового референса основной калибровки — то есть программно, сохраняя его как пользовательский референс.

6. *Шестой «стен»* — последовательный промер серии цветowych патчей, приведение зависимости изменения интенсивности кардинальных стимулов с помощью LUT к степенной функции с заданной гамма и оптимизация результата.

7. Возврат к первому «ступеню», создание пользовательских настроек и сохранение референсов.

### Калибровка монитора с LCD-дисплеем при фиксированных параметрах колориметрической настройки

Схема действий:

1. Измерение освещенности на просмотром месте и цветовой температуры его лампы. Общий для обоих типов дисплеев.

2. *Первый «стен»*. В списке «Gamma» устанавливается требуемая гамма. Список «Brightness» остается неизменным — 100%. «Display Type» — LCD.

3. *Второй «стен»* — интерфейс настройки энергетической яркости белой точки («Contrast») по нижней границе зоны насыщения. Общий для обоих типов дисплеев.

4. *Третий «стен»* (White Point — белая точка) — интерфейс аппаратной настройки цветовой температуры белой точки при помощи «RGB gain» передней панели дисплея.

5. *Четвертый «стен»* предлагает пользователю выбрать методику настройки энергетической яркости источника света LCD-дисплея. Выбирают второй вариант («Luminance Adjustment»), который реализуется пятым «ступенем».

6. *Пятый «стен»*. Оптимален для отладки видеосистем данного варианта. Позволяет аппаратно достичь требуемой энергетической яркости белой точки и, соответственно, минимизировать возможные изменения в LUT.

Пользователь активизирует флажок «Desired Luminance» и выставляет нужное значение. Стрелка «Quality Indicator» укажет направление изменения яркости (рис. 59).



Рис. 59. (Показано наиболее удобное позиционирование измерительного прибора i1 Display II при настройке мониторов с LCD-дисплеями.)

Обращаем внимание на то, что при данной методике энергетическая яркость черной точки становится неуправляема аппаратно, и если будет выбрана низкая энергетическая яркость белой точки, то существенно понизится и энергетическая яркость черной. Последнее может повлечь за собой пропадание деталей в глубоких тенях изображений. Таким образом, отладка видеосистем данной группы требует высоких цифр энергетической яркости белой точки.

7. *Шестой «стен»* — последовательный промер серии цветowych патчей, приведение нелинейности видеосистемы с помощью LUT к степенной функции с заданной гамма и оптимизация результата.

8. Визуальный контроль колориметрического равенства белой точки монитора и белой поверхности на просмотром месте. Общий для всех типов видеосистем.

9. Сохранение референса калибровки.

## Уравнивание белых точек монитора и просмотром места

Уравнивание цветowych координат белых точек монитора и просмотром места — это крайне важная операция, которая, напомним, имеет целью обеспечение единства адаптации зрения по белому.

Уравнивание может быть осуществлено двумя путями:

— визуально при помощи эталонной белой поверхности;

— инструментально при поддержке спектрофотометра EyeOne Photo и программы iShare или при помощи фотоэлектрического колориметра EyeOne Display II и программы EyeOne Match 3. Пользоваться фотографическими колориметрами для измерения цветовой температуры источников мы не рекомендуем — достаточно провести три-четыре замера подряд, чтобы убедиться в низкой точности этих приборов.

### **Важное примечание:**

К инструментальному уравниванию нужно относиться с большой осторожностью и определенным недоверием: инструментальное уравнивание дает существенный выигрыш во времени, но обеспечивает необходимый визуальный результат только при строгом соблюдении условий правильной организации digital darkroom. Даже самые незначительные отклонения, например, несоответствие цветовой температуры источников фонового освещения цветовой температуре просмотром места, приводят к выраженным визуальным несоответствиям при формальном совпадении физических показателей. Как правило, инструментальное уравнивание лишь экономит время оператора, но без заключительной визуальной доводки обойтись не удастся.

Уравнивание всегда должно быть полным, то есть как по координатам цветности (цветовой температуре), так и по светлоте.

Вначале уравнивание всегда выполняется, за счет изменения параметров белой точки монитора и только в случае необходимости — за счет изменения интенсивности свечения лампы просмотром места.

**Визуальное уравнивание** потребует от оператора выбора эталонной белой поверхности. Эталонная белая поверхность должна быть максимально приближена к *условному* идеальному диффузному отражателю (не к тиражной бумаге!).

Такой отражатель должен отвечать следующим требованиям:

- идеально равномерное рассеивание отраженного света по полусфере;
- коэффициент отражения = 1;
- координаты цветности при D50-освещении (в ЦКС  $L^*a^*b^*$ ):  $a=0$   $b=0$ .

Идеального диффузного отражателя в природе не существует, но максимально приближенными к нему CIE считает серебряную пластину, покрытую оксидом магния (MgO) или оксидом бария (BaO). Однако раздобыть такую поверхность сложно, поэтому рекомендуем найти лист высококачественной белой бумаги, не содержащей отбеливателей.

**Примечание 1:**

С помощью денситометра или спектрофотометра (программа Key Wizard 2.5) рекомендуем измерить оптическую плотность бумаги, а из полученного значения вычислить коэффициент отражения по формуле:

$$k = \frac{1}{10^D}$$

где  $k$  — коэффициент отражения;  $D$  — оптическая плотность.

Можно также с помощью Key Wizard 2.5 и Microsoft Excel измерить коэффициенты спектрального отражения по всему диапазону (Spectrum R) и усреднить результат.

**Примечание 2:**

В коробки с фирменной бумагой для струйных принтеров Epson Premium Semigloss вкладываются картонные прокладки с белой мелованной поверхностью очень высокого качества ( $L=91,06$   $a=0,17$   $b=0,08$ ; коэфф. отражения 0,8014), которые можно использовать в качестве эталона.

Эталонную белую поверхность устанавливают на просмотрном месте. Если просмотрное устройство имеет функцию регулировки яркости лампы (диммер), то уровень интенсивности ее свечения вначале подбирают так, чтобы яркость белого листа была бы чуть ниже уровня зрительного дискомфорта, за которым белый лист становится уже чрезмерно светлым.

Запускают Nokia Test\Color\Белый экран.

Запускают Measure Tool\Step 1 и клавишами Alt+Tab устанавливают его интерфейс поверх белого экрана.

Measure Tool\Step 1 дает возможность как *грубого*, так и *тонкого* визуального уравнивания **за счет LUT видеокарты**. Эти два способа независимы друг от друга.

*Грубое визуальное уравнивание:*

— по цветовой температуре (координатам цветности) — это выбор в списке «White Point» значения цветовой температуры, которое указано на корпусе (или в инструкции) просмотрного устройства;

— по светлоте — это подбор нужного значения в списке «Brightness».

*Тонкое визуальное уравнивание:*

— по цветовой температуре осуществляется методом последовательных приближений с помощью редакции XYZ-параметров «Paper White» (кнопка «Set Paper White»). При этом значение в списке «White Point» должно оставаться первичным (6500K).

**Примечание:**

Цифры ЦКС XYZ неудобны, поэтому можно воспользоваться опцией «Color Calculator» программы Color Lab 2.77 и задавать значения в  $L^*a^*b^*$  или Lch (как удобнее), а вычисленные цифры XYZ заносить в параметры «Paper White».

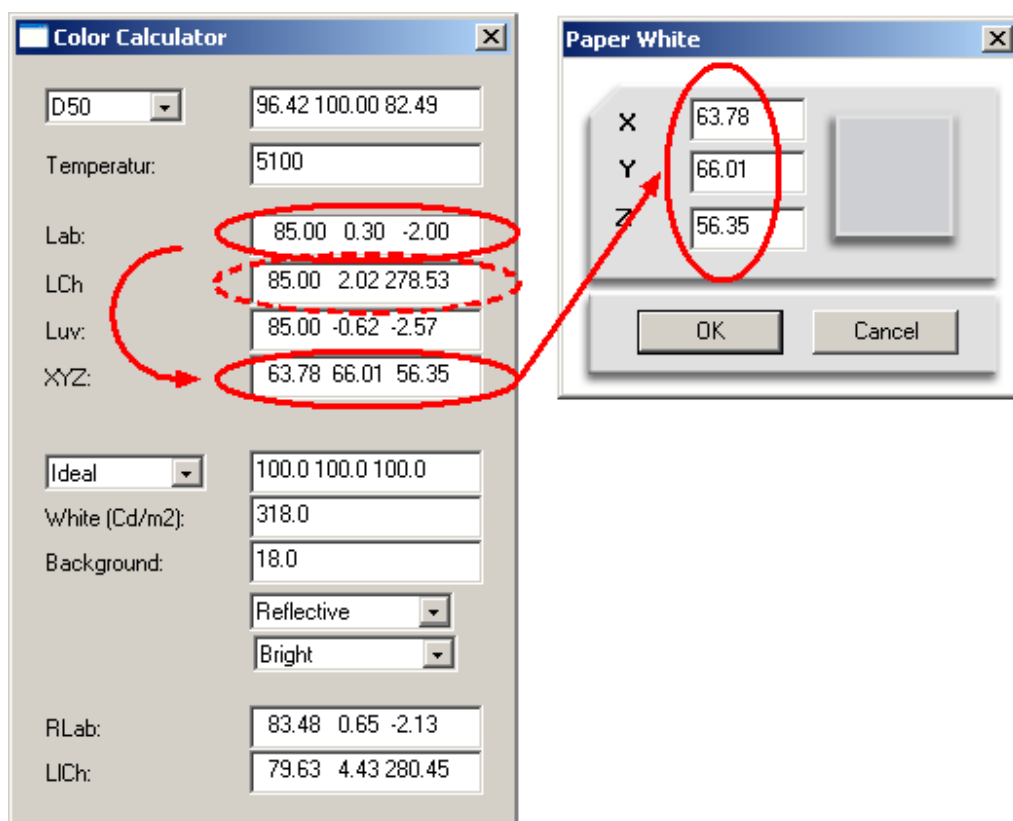


Рис. 60.

Поскольку уравнивание по цветовой температуре — это уравнивание по осям цветности, то по оси «L» можно всегда откладывать 100. Не будет ошибки, если в «Color Calculator» значение «L» не окажется равным 100 (как в нашем примере), нужно помнить, что уравнивание по светлоте с помощью «Paper White» выполнить невозможно — изменение значения «Y» не приводит к изменению энергетической яркости белой точки, а после нажатия «OK» значения возвращаются к исходным 100.

— по светлоте тонкое уравнивание выполняется за счет редактирования строки «Intensity» референсного файла в текстовом процессоре, к примеру, WordPad.

После уравнивания вводится поправка, компенсирующая поглощение части света бумагой. Для вычисления исправленного значения «Intensity» нужно значение, полученное в результате уравнивания, разделить на коэффициент отражения выбранной поверхности.

Если полученное в результате деления значение «Intensity» оказалось больше единицы, то это означает, что максимальная яркость белой точки монитора (при данной цветовой температуре) недостаточна для уравнивания. В этом случае необходимо несколько понизить интенсивность свечения лампы просмотрного устройства, а затем повторить процедуру.

Не стоит относиться с недоверием к визуальному уравниванию — в большинстве случаев именно оно дает наилучший результат.

**Инструментальное уравнивание** не требует наличия эталонной белой поверхности. *Инструментальное уравнивание по цветовой температуре* проводится в двух вариантах.



Если измеренная цветовая температура источника соответствует одному из значений в списке «White Point» с точностью до 50К, то это значение и выбирают в списке.

Если измеренная цветовая температура лампы просмотрового места имеет некое промежуточное значение, не указанное в списке «White point» (скажем, 5300К), то в «Paper White» вносят необходимые значения XYZ. Для этого значение истинной цветовой температуры заносят в «Color Calculator» утилиты «Color Lab 2.77», а полученное значение XYZ-координат вписывают в «Paper White».

По данным XYZ в «Paper White» программа «поймет», какую цветовую температуру хочет получить пользователь (то есть произведет вычисление, обратное тому, что было сделано в «Color Calculator»).

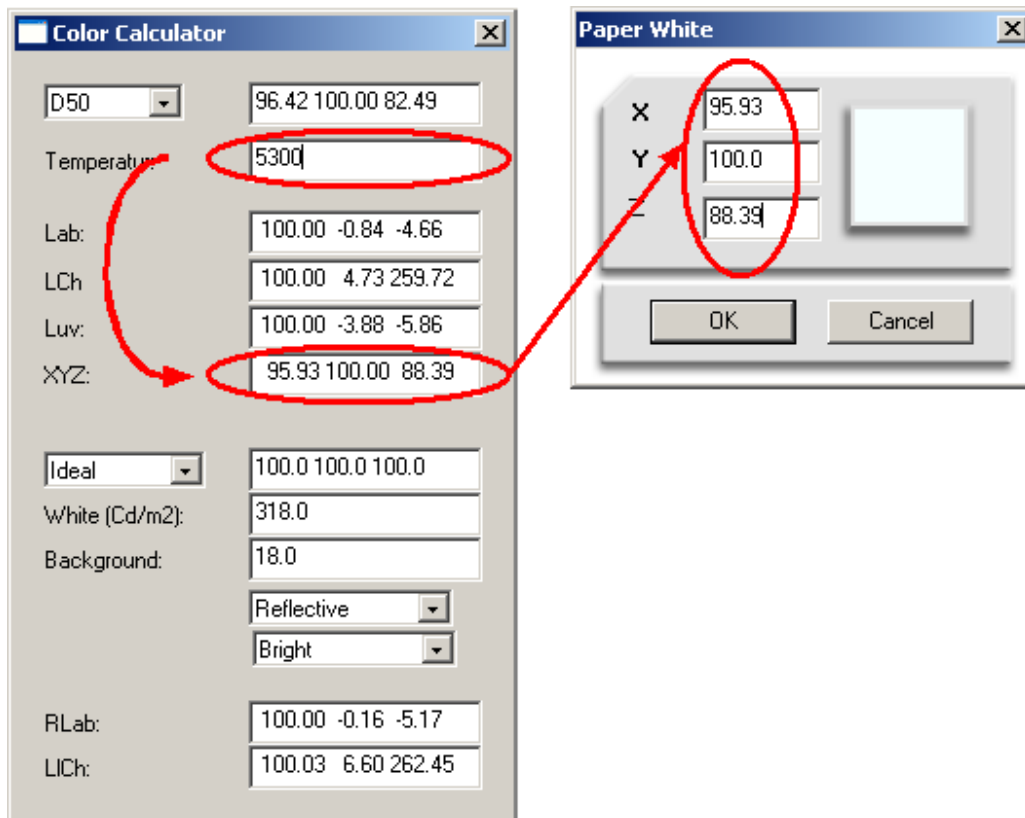


Рис. 61.

*Инструментальное уравнивание по энергетической яркости* производится так: спектрофотометр с установленным фильтром располагают так, чтобы его апертура находилась в центре плоскости просмотрового места, и плоскости апертуры и просмотрового места были бы параллельны. Производят замер освещенности с помощью iShare. Программа выдает результат замера в люксах. По таблице, приведенной ниже, определяют, какова была бы яркость идеальной белой поверхности в cd/m<sup>2</sup> при данной освещенности.

Lux→cd/m<sup>2</sup>

Lux	690	740	790	840	910	970	1000	1100	1200	1300
cd/m <sup>2</sup>	38	41	44	47	51	54	58	62	67	72

<b>Lux</b>	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2100	2200	2400	2600
<b>cd/m2</b>	77	82	88	95	100	110	120	125	130	140

**Примечание:**

Мы не приводим точную формулу расчета эквивалентной энергетической яркости из значений освещенности из-за громоздкости и неудобства в использовании.

Для большей точности настройки системы можно, меняя интенсивность свечения лампы, подогнать освещенность плоскости просмотрного устройства к ближайшему значению из таблицы. Оптимальной является освещенность 1800 lux (соответствует эквивалентной энергетической яркости идеальной белой поверхности 100 cd/m2).

**Примечание:**

При использовании промышленных просмотрных устройств освещенность 1800 lux чаще всего обеспечивается максимальной интенсивностью их лампы.

К значению, найденному в таблице, подводят значение яркости белой точки монитора, выбирая ближайшее в списке «Brightness» (грубо) и/или редактируя позицию «Intensity» в текстовом референсе (тонко) с последующей загрузкой его в интерфейсе первого «степа» Measure Tool\Monitor (кнопка «Load Reference»). Удобно располагать интерфейсы первого степа и окна текстового редактора рядом друг с другом.

Когда будет достигнуто нужное значение (что будет отражено в System Status\Luminance), редактирование референса прекращают и на него ставят атрибут Read Only.

**Пример:** при замере освещенности iShare показала 1500 lux. По таблице находим, что 1500 lux соответствуют 82 cd/m2 идеальной поверхности.

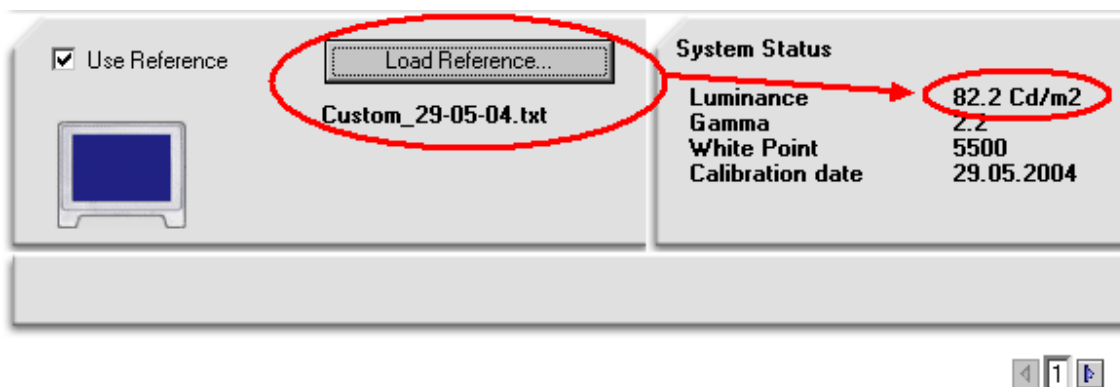


Рис. 62.

Всегда нужно помнить, что инструментальное (энергетическое) уравнивание может не дать желаемого результата, если нарушены правила оформления digital darkroom, то есть если не уделено должного внимания такому важному параметру, как адаптация зрения. К примеру: позади экрана находится поверхность с энергетической яркостью, меньшей, чем яркость черной точки монитора, в помещении присутствует дневной свет и т.п. В этих случаях визуальное уравнивание является единственно возможным и наиболее точным.

\* \* \*

Следующий этап в колориметрической настройке монитора — его характеристика (построение профайла).

## Построение профайла монитора

**Цель построения профайла монитора — получить и зафиксировать данные, характеризующие видеосистему как трехстимульный визуальный колориметр.**

Построение профайла монитора выполняется на основании последовательных колориметрических измерений серии патчей, которые задаются разными комбинациями RGB-значений, то есть разным соотношением интенсивностей кардинальных стимулов монитора. Напомним, что цель колориметрических измерений состоит в:

- выявлении точного значения гамма нелинейности изменения интенсивности кардинальных стимулов;
- определении цветовых координат кардинальных стимулов и опорного белого света монитора в системе CIE XYZ.

Первое необходимо для внесения компенсации предскажений. Второе — для выполнения линейных расчетов по стандартным колориметрическим матрицам.

Для достижения первой цели референс измерений должен содержать набор патчей, в котором интенсивность каждого кардинального стимула меняется с определенным шагом от минимальной до максимальной.

Для достижения второй цели референс измерений должен содержать патчи, задающие максимальную интенсивность каждого из кардинальных стимулов при нулевой интенсивности двух других, а также патч, задающий максимальную интенсивность всех трех кардинальных стимулов (белая точка).

После запуска Profile Maker 5.x.x\Monitor программа предлагает пользователю провести калибровку монитора, на что, разумеется, следует ответить отказом. Затем на экране появляется интерфейс, показанный на рис. 63.

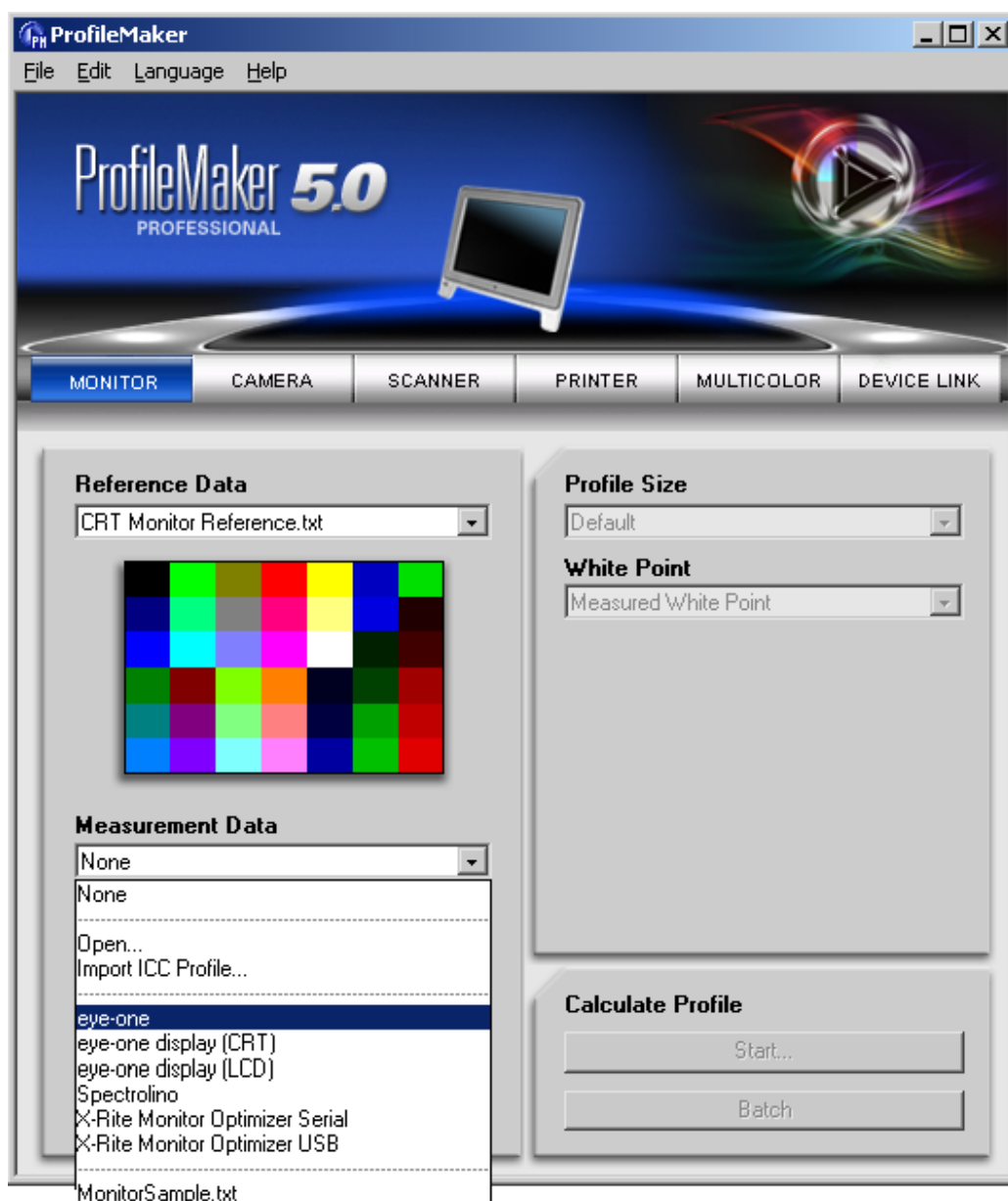


Рис. 63.

По умолчанию программа предлагает два набора патчей, оптимизированных, соответственно, для видеосистем с CRT- и LCD-дисплеями. По соотношению интенсивности кардинальных стимулов патчи подобраны так, что с помощью данных наборов можно строить профайлы как гамма-приведенных (калиброванных), так и гамма-неприведенных мониторов (Large-профайлы).

Текстовый файл (референс), из которого программа берет данные об аппаратных значениях патчей хранится в C:\Program Files\GretagMacbeth\ProfileMaker Professional 5.x.x\Reference Files\Monitor. В это место при необходимости могут быть добавлены референсы, созданные пользователем.

## Построение профайлов гамма-приведенных мониторов

Мы считаем, что для характеристики гамма-приведенных мониторов не требуется большого количества патчей и промер стандартных сорока двух лишь отнимает время. Более того, опыт настройки множества мониторов свидетельствует о том, что расчет профайла по стандартному референсу в данном случае даже чуть менее точен, чем тот, что мы предлагаем ниже.

Практика показывает, что для настройки монитора с приведенной гамма необходимым и достаточным является референс с теми же значениями RGB, что программа Measure Tool выдавала на этапе калибровочных промеров (см. главу «Калибровка монитора с помощью Profile Maker 5.x.x»).

Создание референса характеристики может быть выполнено в программе Color Lab 2.77, которая позволяет создавать любые аппаратные референсы для любых устройств, в том числе и для мониторов.

Схема действий такова: File\New (Ctrl+N). Затем Edit\Add Gradient. В параметрах градиента указать (рис. 64, а):

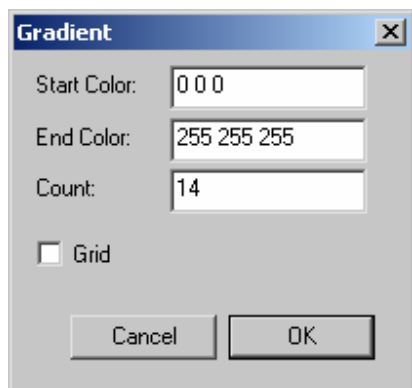


Рис. 64, а

Программа выдаст на экран градиент от 0 0 0 до 255 255 255 с 12 промежуточными градациями (всего 14 патчей). Затем после двойного щелчка на каждой патче в появившееся окошечко вводят необходимые значения. Первый и последний патчи оставляют без изменений.

Можно даже ограничиться изменениями лишь в трех патчах, введя аппаратные данные для кардинальных стимулов, а «серые» оставить теми, что автоматически установил Color Lab.

Последний этап: File\Save As.

Если полученный текстовый файл сохранить по указанному выше пути, то после перезапуска ProfileMaker имя файла появится в списке «Reference». Рекомендуем пользовательские текстовые референсы хранить в отдельной папке и загружать командой «Open».

Промер патчей характеристики необходимо проводить в полной темноте.

Время промера предложенного референса около одной минуты.

Для характеристики гамма-неприведенных мониторов и построения Large-профайла следует использовать референс, предлагаемый программой по умолчанию.

Распространенной ошибкой операторов при характеристике гамма-приведенных мониторов является промер больших референсов (например, принтерного TC9.18RGB) в надежде на большую точность полученного профайла. Напомним, что количество патчей должно быть минимально необходимым. Неоправданное увеличение хроматического разнообразия патчей ведет лишь к потерям времени, ошибкам вычислений и ухудшению результата.

Однако если оператор располагает свободным временем, то для повышения точности характеристики гамма-приведенных видеосистем может быть рекомендована тактика создания референса, при которой Profile Maker несколько раз выполняет измерение каждого кардинального стимула и несколько раз выполняет измерение белой точки и «серого» градиента. В основу такого референса положены уже известные 14 патчей, но дается команда Ctrl+C, а затем повтором команды Ctrl+V создается несколько его копий. Копии появляются в том же активном окне Color Lab 2.7.7 и автоматически сохраняются вместе с первым в виде единого референса (рис. 64, б).

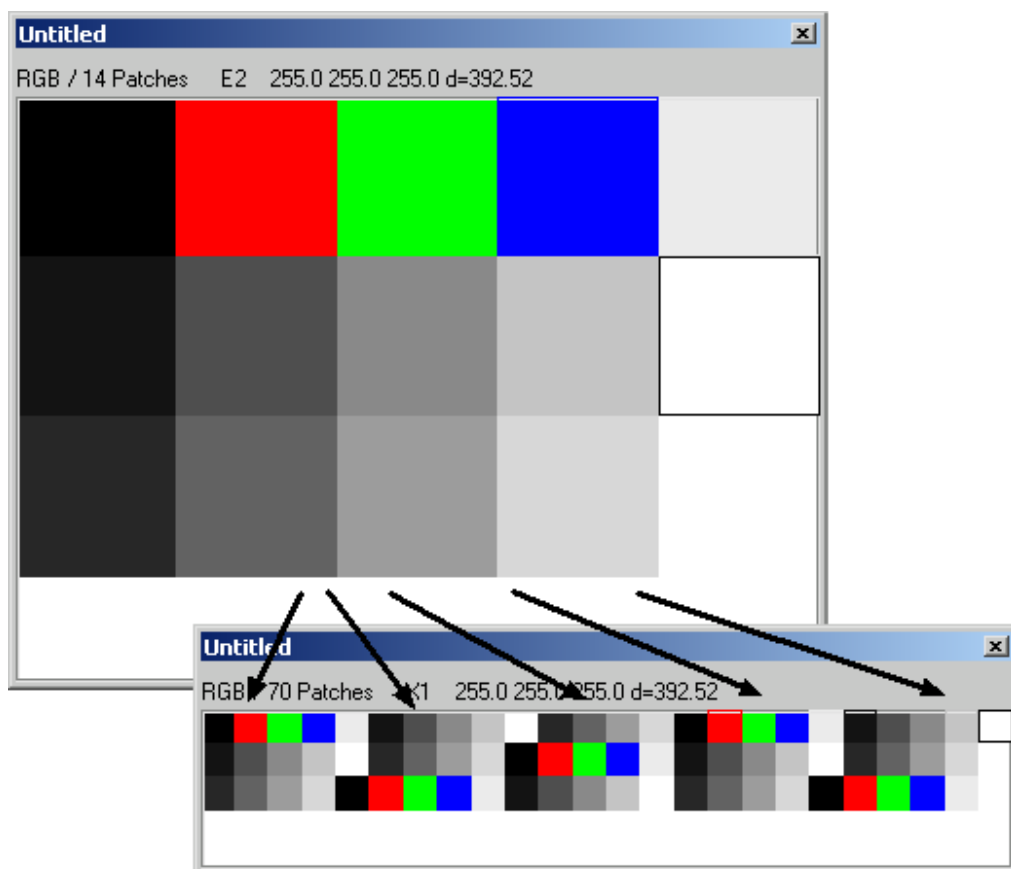


Рис. 64, б

Profile Maker, «видя», что на одно и то же соотношение интенсивности кардинальных стимулов монитора (то есть на одну и ту же комбинацию RGB-значений) приходится немного разные данные XYZ, автоматически усредняет их.

Очень хорошие результаты дает референс, в котором тройки кардинальных стимулов повторяются пять-шесть раз подряд, пять-шесть раз чередуются черная и белая точки, а затем

следует «серый» градиент от 0 до 255 255 255 с шагом 256. Промер такого референса занимает около 20 минут.

Количество профайлов, которое необходимо построить, определяется тем, каково количество пользовательских калибровок, поскольку параметры калибровки определяют монитор как трехстимульный колориметр. Сколько калибровок — столько колориметров. Сколько колориметров — столько профайлов.

Соответственно в системную папку сохраняется основной профайл и, если необходимо, пользовательские профайлы, построенные на основании промеров, выполненных при пользовательской калибровке.

Выбор параметров в списках «Profile Size» и «White Point» станет понятным после знакомства с главой «Профайл монитора и его содержимое». Здесь следует сказать лишь о том, что использование Large-профайла на гамма-приведенном мониторе с CRT-дисплеем бессмысленно и всегда ведет лишь к ухудшению результата настройки, так как расчет аппаратных данных для монитора производится методом интерполяции по трехмерным таблицам соответствия, а не по стандартным колориметрическим матрицам. Как правило, самым слабым местом табличного (Large) профайла монитора является воспроизведение теней изображения — они выражено теряют градации («провал в тенях»).

Большим заблуждением является мнение, будто построение Large-профайла улучшает точность цветовоспроизведения гамма-приведенной видеосистемой: гамма-компенсация предыскажения и матричное преобразование дают несравнимо более точный результат, чем интерполированный расчет данных по таблицам соответствия.

### **Построение профайлов гамма-неприведенных мониторов**

Если по каким-либо техническим причинам не удастся выполнить гамма-приводку видеосистемы (к примеру, используется видеокарта устаревшей модели, где отсутствует LUT), то это, с одной стороны, означает, что монитор не может быть описан как трехстимульный визуальный колориметр, с другой — это не значит, что монитор вообще не может быть колориметрически настроен, хотя качества настройки гамма-приведенного монитора достичь не удастся.

Для характеристики гамма-неприведенных мониторов строят табличный (Large) профайл. Как правило, достаточным является референс, предлагаемый программой по умолчанию, однако у мониторов с дисплеем низкого класса удовлетворительный результат может быть достигнут только при использовании большого количества промеров, скажем, при измерении принтерной тест-карты TC 9.18, состоящей из 918 разнообразных патчей.

При характеристике мониторов с некоторыми моделями LCD-дисплеев наилучший результат дает построение именно Large-профайла

## **Профайл монитора и его содержимое**

Профайл монитора несет в себе исчерпывающую информацию, характеризующую монитор как трехстимульный визуальный колориметр, то есть профайл содержит информацию о:

— цветовых координатах кардинальных стимулов монитора в системе CIE XYZ;

- цветовых координатах опорного белого света монитора в системе CIE XYZ;
- гамме нелинейности изменения интенсивности кардинальных стимулов монитора.

Данная информация используется CMS графических приложений или операционной системы для выполнения матричных расчетов удельных коэффициентов кардинальных стимулов монитора с целью достоверной экранной визуализации изображений.

Также профайл монитора содержит дополнительную служебную и вспомогательную информацию, характер и объем которой зависит от версии ICC-спецификации профайла.

Информация в профайле монитора, как и во всех ICC-профайлах устройств, представлена в виде полей заголовков (Header fields) и таблицы тэгов (Table Tags).

Рассмотрим устройство т.н. матричных (matrix based) профайлов, которые Profile Maker 5.x.x строит по умолчанию (версия 2.4.0 ICC-спецификации).

### Поля заголовков (Header fields)

Поле Profile Details (Детали профайла) — содержит информацию о типе устройства (монитор), цветовой модели, рекомендуемом СММ, способе gamut mapping по умолчанию.
Поле Device Information (Информация об устройстве) — содержит данные о марке дисплея, его типе (CRT или LCD).
Поле File Information (Информация о файле) — содержит информацию о названии файла, размере, локализации.
Поле Creation Details (Детали создания) — содержит дату создания, информацию о компьютерной платформе, собственно профайлере (LOGO).
Поле ICC/Technical Attributes (Технические характеристики) — содержит информацию о версии ICC-спецификации профайла, о ЦКС, выступающей в роли PCS.

### Таблица тэгов (Table Tags)

№	Обозначение тэга	Название тэга	Пояснение
0	<b>Cprt</b>	Copyright	Копирайт компании, программное обеспечение которой строило данный профайл.
1	<b>Desc</b>	Description (Internal Name)	Внутреннее имя профайла. <b>Примечание:</b> Именно внутреннее имя профайла отображается в списках графических приложений и Display Properties операционной системы, но не имя ICM-файла.
2	<b>DevD</b>	Device Data	Аппаратные данные (RGB-значения), по которым производилось колориметрическое измерение патчей.
3	<b>CIED</b>	CIE Data	Данные измерений патчей в ЦКС XYZ.
4	<b>Pmtr</b>	Profile Maker text reference	Информация о программе, строившей профайл.
5	<b>Chad</b>	Chromatic	<i>Отличает профайлы версии ICC-</i>



		Adaptation Tag	<p><i>спецификации 2.4.0 от профайлов предыдущих версий.</i></p> <p>Содержит заранее рассчитанные линейные коэффициенты матричного пересчета XYZ-координат опорного белого света монитора (точка хроматической адаптации) в XYZ-координаты идеального диффузного отражателя под светом D50-источника (X96.42 Y100.00 Z82.49). Позволяет существенно упростить и ускорить экранную визуализацию изображений теми графическими приложениями, которые могут воспользоваться данным тэгом. Те приложения, что не могут воспользоваться данным тэгом, в процессе визуализации изображения производят расчет коэффициентов обычным порядком. Идея предложена фон Кризом (von Kries).</p>
6	<b>rXYZ</b>	Red colorant values XYZ	Цветовые координаты «красного» кардинального стимула в системе CIE XYZ
7	<b>gXYZ</b>	Green colorant values XYZ	Цветовые координаты «зеленого» кардинального стимула в системе CIE XYZ
8	<b>bXYZ</b>	Blue colorant values	Цветовые координаты «синего» кардинального стимула в системе CIE XYZ
9	<b>Wtpt</b>	White Point	Цветовые координаты белой точки в системе CIE XYZ
10	<b>Lumi</b>	Luminance tag	<p><i>Отличает профайлы версии ICC-спецификации 2.4.0 от профайлов предыдущих версий.</i></p> <p>Содержит данные об энергетической яркости белой точки в cd/m<sup>2</sup></p>
11	<b>rTRC</b>	Red tone repro curve	Гамма нелинейности изменения интенсивности «красного» кардинального стимула.
12	<b>gTRC</b>	Green tone repro curve	Гамма нелинейности изменения интенсивности «зеленого» кардинального стимула.
13	<b>bTRC</b>	Blue tone repro curve	Гамма нелинейности изменения интенсивности «синего» кардинального

			стимула.
14	<b>vcgt</b>	Video Card Gamma Tag	<p>Изменения в LUT видеокарты, при которых строился данный профайл.</p> <p><b>Важное примечание:</b></p> <p>В профайлах мониторов версий 2.0 (и ниже) vcgt отсутствует, и изменения в LUT видеокарты загрузчик вносит на основании расчета по данным промеров, содержащихся в системном реестре. Расчет, напомним, производится каждый раз при загрузке операционной системы.</p> <p>В профайлах спецификации версии 2.4 (и выше) vcgt присутствует, а загрузчик, при наличии активного профайла монитора в системе, игнорирует реестр и вносит изменения в LUT, взяв информацию из данного тэга. Такой подход является более надежным и удобным, чем прежний.</p> <p>Способность распознавать vcgt в профайлах мониторов появляется у загрузчиков Profile Maker от версии пакета 4.1.1, тогда как умение заносить vcgt в профайлы лишь от версии 4.1.5.</p>
15	<b>gmps</b>	Secret sauce	Служебная закрытая информация.

### *Large-профайлы монитора*

В состав этих профайлов, помимо всех перечисленных тэгов matrix-based-профайлов, входят шесть дополнительных тэгов (две группы по три тэга — для входящей и исходящей частей профайла), представляющих собой 16-битные трехмерные таблицы (Double Precision (16 bit) Multi-Function Lookup Table) соответствия RGB-данных монитора цветовым координатам в системе CIE XYZ.

В каждой тройке персональная таблица для трех возможных вариантов intent — Perceptual, Colorimetric (объединяет в себе Relative и Absolute) и Saturation. Благодаря этим таблицам Large-профайл может быть использован на гамма-неприведенных видеосистемах.

### **Профайлы четвертой версии ICC-спецификации**

Profile Maker 5.x.x позволяет строить профайлы монитора четвертой версии ICC-спецификации. Чтобы построить такой профайл, нужно войти в Edit\Preferences и установить флажок против строки «According to ICC specification version 4».

В профайлах мониторов четвертой версии ICC-спецификации есть одно принципиальное отличие от профайлов, построенных по спецификации версии 2.4.0: в тэг «wtpt» независимо от реальной цветовой температуры выбранного опорного белого света монитора вписываются XYZ-координаты D50-источника, а для выполнения матричных расчетов, необходимых при визуализации, графические приложения должны пользоваться данными из Chromatic Adaptation Tag. Именно поэтому, т.е. за ненадобностью при создании профайлов мониторов четвертой версии ICC-спецификации из интерфейса Profile Maker 5.x.x убран список источников освещения.

Таким образом, если профайл монитора четвертой версии ICC-спецификации будет использован графическими программами, не умеющими работать с «Chad»-тэгом,

визуализация файлов пойдет из расчета D50 XYZ-координат опорного белого света монитора, то есть с ошибками.

Отметим, что графические программы пакета Adobe CS «понимают» профайлы как версии 2.4.0, так и версии 4.0, поэтому **профайлы мониторов обеих спецификаций для пользовательских калибровок можно строить на основании измерений, выполненных один раз**, например только для основной калибровки: при создании профайла для пользовательских калибровок Profile Maker 5.x.x прочитывает vsgt и умножает коэффициенты матрицы Chad на нормированные максимальные значения LUT. В результате становятся известны XYZ-координаты белой точки монитора при данном состоянии LUT, то есть при пользовательской калибровке. Качество визуализации при таком способе колориметрической настройки монитора будет несколько ниже, чем при настройке на основе измерений, выполненных при пользовательской калибровке.

Можно ожидать, что в ближайшее время не только приложения Adobe CS, но и программные графические пакеты других производителей «научатся» работать с Chad.

Инспекцию профайлов можно осуществлять с помощью бесплатной утилиты ICC Profile Inspector ([www.color.org](http://www.color.org)).

## Проверка качества калибровки и характеристики монитора

### Проверка качества калибровки монитора

#### *Основная калибровка*

#### Визуальная проверка

1. **Достижение/не достижение монитором нижней границы зоны насыщения по высоким светам.** Можно выявить, создав в Color Lab 2.77 ряд патчей (команда add gradient) от 250 250 250 до 255 255 255 с шагом 1. Визуально все патчи должны отличаться друг от друга по светлоте. Однако мы не видим особого смысла в такой проверке, так как второй «step» Measure Tool\Monitor работает надежно.

2. **Соответствие цветовой температуры желаемому значению** визуально определить очень сложно, даже при большом опыте настройки мониторов: вмешивается высокая адаптивность зрения человека. Только явные несоответствия бросаются в глаза. В целом белая точка визуально может быть чуть-чуть холоднее, чем белая поверхность, освещенная лампой просмотрового места.

3. **Контроль черной точки и гамма** осуществляется так: пользователь вызывает инструмент «Brightness and Contrast» утилиты Nokia Test и убеждается в том, что:

- поле 1% отличимо от фона;
- все патчи серой шкалы отличаются друг от друга по светлоте и при этом более или менее нейтральны, то есть не имеют выраженного хроматического компонента, меняющего свой цветовой тон от теней к светам. К примеру: тени имеют зеленоватый оттенок, а средние тона и света — пурпурный. Допускается присутствие небольшого хроматического сдвига, не меняющего свой цветовой тон на всем протяжении шкалы, например в зеленую или желтую стороны;

— при гамма 2,2 серая шкала заглавной страницы Nokia Test должна выглядеть равноконтрастной от поля 10% до 100%.

**4. Контроль контраста.** Для контроля контраста монитора используют тестовое изображение, которое заведомо является полноконтрастным. При отображении его на экране должен достигаться полноценный визуальный контраст.

#### Инструментальная проверка

**1. Соответствие цветовой температуры желаемому значению** проверяется после построения профайла (сценарий «Measured White Point»), так как такой профайл содержит необходимые данные (см. «Профайл монитора и его содержимое»). Профайл инспектируют в ICC Profile Inspector или Chromix Color Think, и значения XYZ тэга «wtpt» заносят в «Color Calculator» утилиты Color Lab 2.77 (предварительно умножив каждое на 100). В окне «Temperatur» высветится искомое значение цветовой температуры.

Если инспектируется профайл версии ICC 4.0, то, чтобы не выполнять сложное матричное вычисление реальной белой точки, имеет смысл, взяв за основу имеющийся профайл, перепостроить контрольный профайл версии ICC 2.4.0 и выявить значение цветовой температуры по описанной схеме.

**2. Инструментальный контроль гамма видеосистемы** также происходит автоматически при построении профайла и отдельного мероприятия не требует. Данные о выявленной величине гамма по трем каналам содержатся в профайле, которые можно получить с помощью его инспекции (тэги rTRC, gTRC, bTRC). Отличия по гамма, не превышающие 0,1 — норма.

Как правило, полученной информации вполне достаточно.

Если все же есть сомнения в том, что в результате калибровки видеосистема точно приведена к степенной функции по энергетической яркости и что кривые по трем каналам не имеют «ям и ухабов», проводят следующую контрольную операцию:

— в Color Lab 2.77 создают мишень, состоящую из трех градиентов — от 0 0 0 до 255 0 0, от 0 0 0 до 0 255 0, от 0 0 0 до 0 0 255 с шагом не менее 20. Затем добавляют еще один патч 255 255 255 — он понадобится для контроля черной точки (см. ниже). Сохраняют текстовый референс;

— запускают Profile Maker\Monitor. Загружают референс и проводят измерение патчей. Данные измерений сохраняют в виде текстового референса (если произошло сохранение спектрального референса, то его нужно переконвертировать в XYZ с помощью Color Lab 2.77: Filter\Mode\XYZ);

— полученный референс открывают в Microsoft Excel. При загрузке в мастере текстов (импорт), в шаге 3 выбирают режим столбца «Текстовый». После загрузки выполняют автозамену всех точек на запятые;

— удаляют все данные, оставив только данные колонки, которая соответствует «XYZ\_Y»;

— колонку «XYZ\_Y» разбивают на три колонки по 20 ячеек в каждой (при шаге градиента 20): с 1 по 20-ую, с 21 по 40-ую и с 31 по 60-ую (что будет соответствовать промерам яркости в каждом канале);

— данные в каждой колонке уменьшают на величину измерения в их первой ячейке, приводя первую ячейку каждой колонки к нулю;

— нормируют данные в каждой колонке, поделив их на величину в последней ячейке;

— создают контрольную колонку от 0 до 19 с шагом 1, нормируют данные (то есть делят значение в каждой ячейке на 19) и возводят в степень требуемой гамма;

— строят одновременные графики всех колонок. График последней колонки — расчетная кривая заданной гамма, необходимая для сравнения.

По полученным кривым очень хорошо видны как соответствие каждого канала графику степени требуемой гамма, так и междуканальная приводка (рис. 65, а, б).

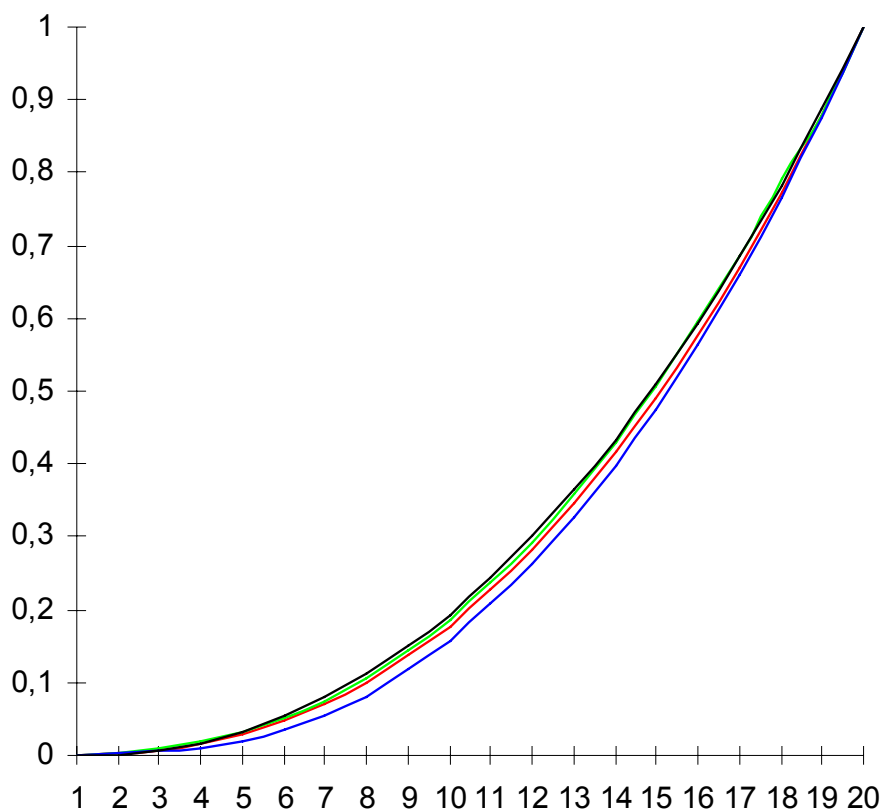


Рис. 65, а. Кривые изначальной нелинейности изменения интенсивности кардинальных стимулов видеосистемы Matrox G550 + CRT-дисплей ViewSonic P815. Построены по описанной методике. Измерительный прибор: фотоэлектрический колориметр X-Rite DTP-92 USB. Черная линия — кривая функции гамма 2,2.

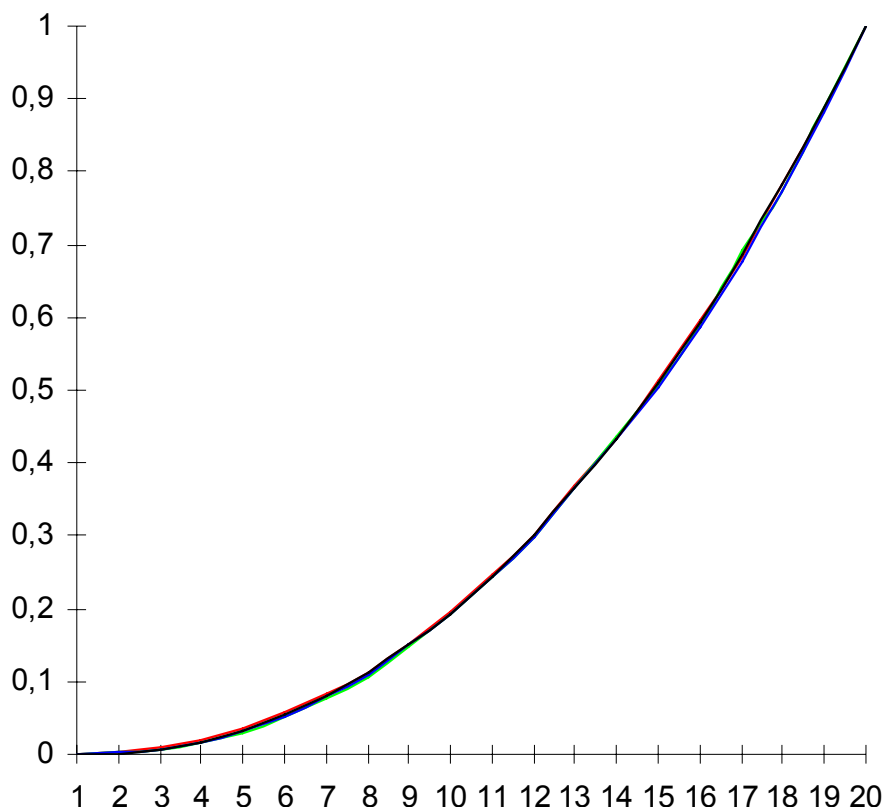


Рис. 65, б. Кривые нелинейности той же видеосистемы, приведенной к гамма 2,2. Построены по описанной методике. Измерительный прибор: фотоэлектрический колориметр X-Rite DTP-92 USB. Черная линия — кривая функции гамма 2,2.

При использовании фотоэлектрического колориметра данный результат является вполне удовлетворительным. При использовании спектрофотометра можно ожидать лучшего результата.

Для большей точности имеет смысл провести измерение несколько раз, усреднить результат при помощи Measure Tool\Averaging, а затем выполнить процедуру, описанную в этом пункте.

**3. Инструментальный контроль черной точки.** Отдельного измерения не требуется, так как референс контрольных промеров тонопередачи (патч A1, или F1, или K1) уже содержит необходимую информацию<sup>21</sup>. Как правило, при правильно выполненном шаге 3 Measure Tool\Monitor энергетическая яркость черной точки оказывается в пределах  $Y=0,3-0,6$ . Допустимо значение энергетической яркости черной точки выше 0,6, но при условии, что энергетический контраст системы окажется не ниже 2,4.

**4. Инструментальный контроль контраста** не требует отдельных измерений: достаточно воспользоваться референсом измерений патчей характеристики, взяв из них  $Y$ -значение белой и черной точек. Десятичный логарифм отношения  $Y_{white}/Y_{black}$  будет являться показателем контраста, и желательно, чтобы он оказался не ниже 2,4.

*Пользовательская калибровка*

<sup>21</sup> Если референс измерений не был сохранен, его можно извлечь из профайла с помощью Measure Tool\File\Import ICC Profile...

## Визуальная проверка

1. **Светлота и цветность белой точки** (Nokia Test\Color — белое поле) должны визуально совпадать со светлотой и цветностью белой тиражной поверхности на просмотром месте.

2. **Контроль черной точки и гамма.** Пользователь вызывает инструмент «Brightness and Contrast» утилиты Nokia Test и убеждается в том, что:

— поле 1% отличимо от фона;

— все патчи серой шкалы отличаются друг от друга по светлоте и при этом нейтральны, то есть не имеют выраженного хроматического компонента, меняющего свой цветовой тон от теней к светам.

— при гамма 2,2 серая шкала заглавной страницы Nokia Test должна выглядеть равноконтрастной от поля 10% до 100%.

### *Инструментальная проверка*

Идентична проверке основной калибровки.

Если позволяет время, то контрольные измерения проводят не только для proof-, но и для и practical-яркости белой точки, что дает возможность:

— определить степень доверия к practical-режиму;

— оценить качество видеосистемы в целом: переход к practical-яркости не должен приводить к выраженному разбалансу кривых гамма.

## Характеризация монитора

Схемы проверки основного и пользовательского профайлов одинаковы.

### *Визуальная проверка*

Для визуального контроля характеристики, то есть контроля качества полученного профайла, в распоряжении пользователя должен быть RGB-файл памятного тестового изображения с профайлом абстрактного идеального устройства (скажем, sRGB), обладающего полным тоновым диапазоном, достаточно большим цветовым охватом и большим количеством тоновых градаций. Пользователь должен быть уверен в том, что четко знает и помнит то, как должно выглядеть данное изображение на экране хорошо калиброванного и верно характеризованного монитора.

Требования к тестовому изображению следующие:

В обязательном порядке тестовое изображение должно содержать серый (без кавычек) градиент: от 0 0 0 до 255 255 255. Серым он будет потому, что в абстрактных идеальных колориметрах нейтральные оттенки воспроизводятся равными значениями интенсивности RGB-стимулов.

Желательно, чтобы тестовое изображение содержало также дискретный серый градиент с шагом в 3-5 значений. Патчи градиента следует пронумеровать для удобства оценки.

Если общее впечатление от изображения, открытого в Adobe Photoshop (при правильно настроенной CMS), совпадает с тем, что помнит настройщик, то приступают к оценке серых градиентов. Их анализируют по следующим параметрам:

— сплошной и дискретный градиенты должны выглядеть равномерными;

— градиент должен вызывать ощущение нейтрально-серого, на всем протяжении градиента не должно быть хроматических сдвигов.

Ценность представляет только первое впечатление от рассматривания градиента. Спустя 15-20 секунд пользователю начинает казаться, что такой-то патч в дискретном градиенте приобрел хроматический компонент, а потом вдруг поменял свой цветовой тон, что сплошной градиент раздробился на вертикальные разноокрашенные полосы и т.п. — не следует обращать внимания на эти сугубо физиологические эффекты: они естественны.

Полезным и удобным является размещение в тестовом изображении черной и белой плашек, на которых нанесены цифры, соответствующие значениям аппаратных данных их заливок от 1 до 20 на черной и от 254 до 235 на белой плашках (к примеру, «15» — R15 G15 B15). Такие плашки помогают оценить передачу градаций в глубоких тенях и высоких светах изображений.



Рис. 66.

Когда черная плашка масштабирована во весь экран, отличным результатом является различимость цифр 2, 3 и выше. Хорошим — различимость цифр 4, 5 и выше. Приемлемым — различимость цифр 6, 7 и выше. Если различимы цифры лишь от 8 и выше — результат неудовлетворительный. Когда белая плашка масштабирована во весь экран, то должны быть различимы все цифры, но можно смириться с пропаданием цифры 254.

Еще одним критерием визуальной оценки качества настройки видеосистемы может служить достоверность экранной цветопробы: ее высокое качество подтверждает точность калибровки и характеристики монитора, **но неудовлетворительный результат необязательно говорит о низком качестве профайла монитора: гораздо чаще это оказывается следствием неточности профайлов печатных устройств или ошибок в организации экранной пробы.**

### *Инструментальная проверка*

Инструментальной проверке подвергается качество основного и пользовательского профайлов.

Напомним, что доброкачественный профайл монитора, использованный СММ графического редактора, обеспечивает визуализацию файла изображения таким образом, что цветовые ощущения, возникающие у наблюдателя, совпадают по значению цветовых координат со значениями, заложенными в файл изображения. Ниже мы будем говорить о том,



что если это условие выполняется, то при наличии точного профайла тиражного устройства экранный пружинг автоматически будет достоверным.

Существуют различные способы проверки точности профайла, но один из них напрашивается сам собой: визуализация тестового изображения в графическом редакторе, промер его патчей и сравнение результатов с показаниями панели Info по Lab. Данный способ методически верен, но требует одновременного запуска графического редактора, измерительной программы (Measure Tool\Spot, Key Wizard, Color Shop), трудного позиционирования их интерфейсов, постоянного переключения с одного на другой и, как следствие, большой траты времени. К тому же, нужно учитывать, что измерение высоконасыщенных патчей может оказаться недостоверным, так как при экранной визуализации, как и при любом другом способе тиражирования изображений, имеет место gamut mapping (в данном случае — gamut clipping). По последней причине перед измерениями приходится проводить конверсию тестового изображения в аппаратные данные монитора по профайлу монитора, чтобы цветовые координаты всех патчей оказались внутри охвата монитора. Нельзя также забывать, что при измерении с экрана цветовые координаты будут рассчитаны на D50, тогда как белая точка монитора может быть иной, и пользователю понадобится вручную пересчитывать значения.

Проверка качества профайла монитора должна быть не только методически верной, но и технологичной: быстрой и удобной. Поэтому предлагаем методику, построенную, исходя из следующего рассуждения: если взять набор произвольных RGB-данных и по построенному профайлу монитора рассчитать *потенциальные* XYZ-координаты для каждой тройки RGB-значений из этого набора, то при контрольном замере патчей (если профайл точен) результаты фактических измерений с экрана должны совпасть со значениями расчетных XYZ-координат.

Схема действий:

1. В Color Lab 2.77 выбирают File\Open Special\TC2.88 RGB Reference. TC2.88 RGB — это комплект (тест-карта), состоящий из 288 RGB-троек, предназначен для построения RGB Output Profiles принтеров, но он же, ввиду большой и разнообразной выборки RGB-комбинаций, подходит и для контроля профайла монитора. Сохраняют данный комплект в виде текстового референса, к примеру, под именем «RGB\_288.txt»

2. Выбирают Filter\ICC\LogoSync (команда Ctrl+M) и в появившемся диалоге в качестве профайла источника устанавливают контролируемый профайл монитора, а профайлом назначения выбирают CIE LabD50.icm. Метод расчета координат (Matching options) — Absolute (рис. 67).

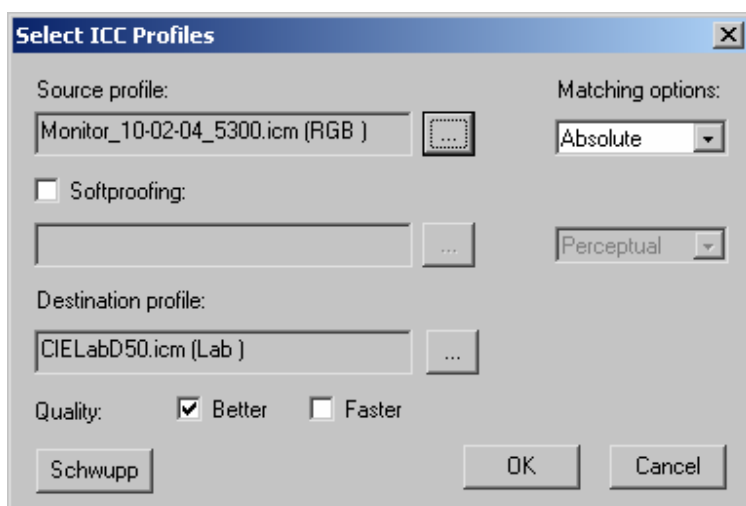


Рис. 67.

После нажатия «ОК» произойдет расчет цветовых координат патчей. Все они будут находиться внутри цветового охвата монитора. Сохраняют значения цветовых координат в текстовом виде, к примеру под именем «Supposed.txt».

3. Запускают Profile Maker\Monitor. В списке Reference\Open выбирают «RGB\_288.txt». Производят измерение, аналогичное измерению при построении профайла (длится около 5 минут). Результаты измерений сохраняют в виде текстового файла (в нашем примере — «Measured.txt»).

Если у пользователя есть время и желание, то предпочтительным является серийный замер тест-карты (не менее чем из пяти серий). Результаты сохраняют («Measured\_1.txt, Measured\_2.txt ... Measured\_n.txt») и усредняют при помощи Measure Tool\Averaging. Желательно, с помощью Measure Tool\Comparing исключить тот файл(ы) промеров, который более всего отличается от остальных — нужно помнить, что возможны ошибки измерений с экрана. Сказанное в первую очередь касается пользователей колориметра X-Rite DTP-92.

4. Запускают Measure Tool\Comparing. В Reference\Open загружают текстовый файл, содержащий расчетные цветовые координаты («Supposed.txt»). В Sample\Open загружают текстовый файл, содержащий результаты измерений («Measured.txt»). По результатам сравнения судят о качестве профайла.

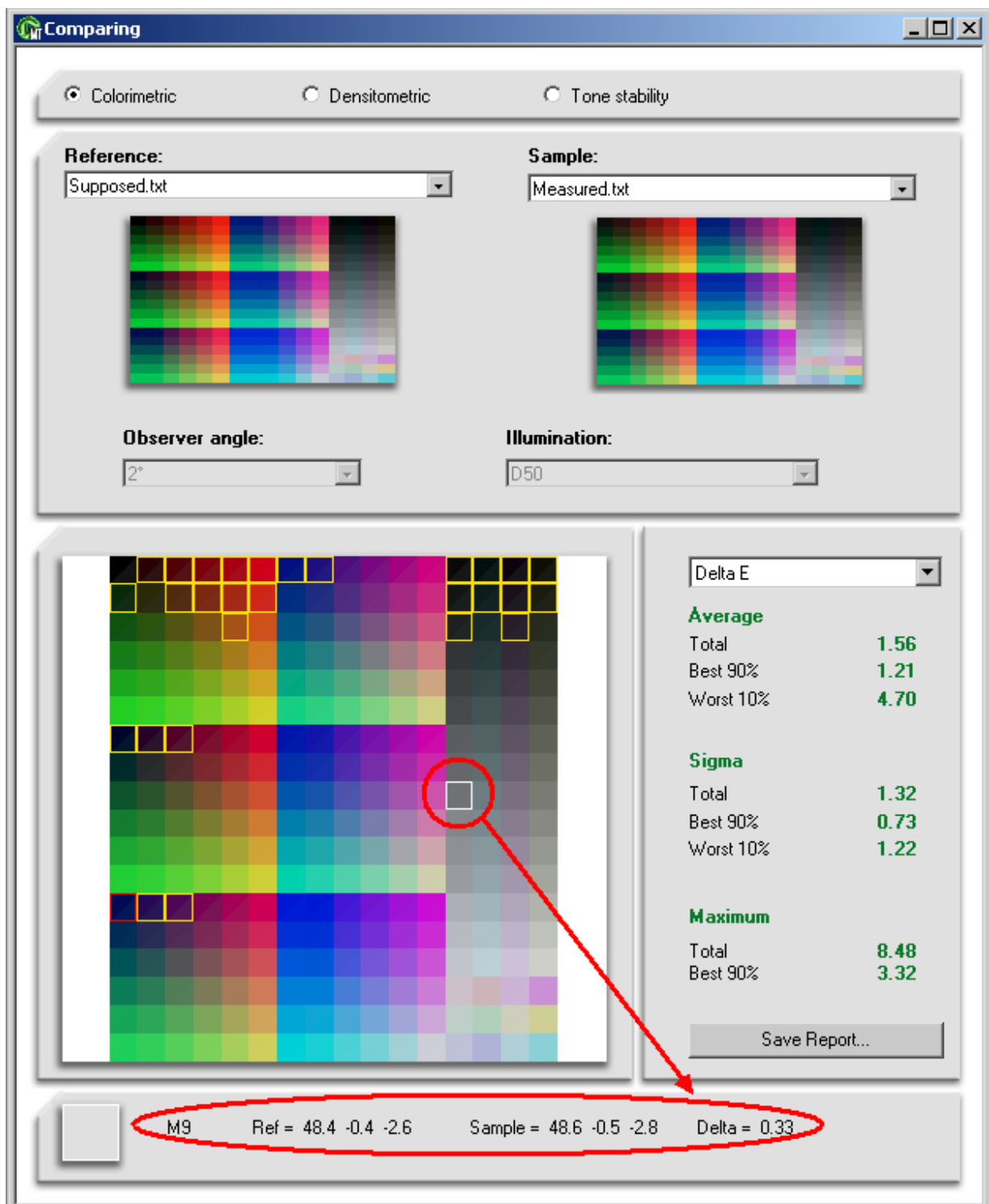


Рис. 68.

Те патчи, что по величине расхождения с Reference (в нашем случае — с расчетными значениями) не попадают в 90% лучших, программа автоматически выделяет желтым контуром. Патч с самым большим расхождением (худший) выделяется красным контуром.

По умолчанию программа предлагает данные в величинах dE2000. Поскольку нами пока не накоплена статистика, позволяющая давать какие-либо рекомендации, мы приводим значения классической dE.

К сожалению, нет возможности объявить максимально допустимую величину dE для всех патчей: с одной стороны, наше зрение имеет непостоянные пороги различения в насыщенных областях и областях, близких к нейтралу. С другой стороны, точность измерительных приборов ощутимо понижается в теневых областях. Критерии оценки величины dE по разным категориям патчей приведены в таблице.

Категория патчей	dE			
	Отлично	Хорошо	Терпимо	Неприемлемо
A1-A3 B1-B3 C1-C3 D1-D3 E1-E3 F1-F3 G1-G3 H1-H3	<4	4-6	6-10	>10
A7-A8 B7-B8 C7-C8 D7-D8	<4	4-6	6-10	>10
A13-A14 B13-B14 C13-C14 D13-D14	<4	4-6	6-10	>10
M1-M3 N1-N3 O1-O3 GS6-GS8	<3	3-5	5-8	>8
M4-M18 N4-N18 O4-O18 GS9-GS23	<1	1-2	2-3	>3
Остальные	<1	1-3	3-4	>4

## Редактирование LUT и профайла монитора

Необходимость в редактировании данных LUT и/или профайлов монитора возникает крайне редко и только вследствие ошибок измерений. Если пользователя не удовлетворяет результат настройки, то причину неудачи нужно в первую очередь искать в ошибках, допущенных оператором, и лишь потом в ошибках измерений. Неточности программных вычислений, которые могли бы потребовать редакции профайла, при создании простых матричных профайлов исключены, а при создании Large-профайлов так незначительны, что редактирование скорее навредит, нежели исправит недочеты.

Ошибки измерений могут возникать по двум причинам: либо при попытке настройки монитора с сильно «состарившимся» дисплеем (или дисплеем низкого класса) с помощью колориметра, либо вследствие производственного дефекта измерительного прибора. Последнее при использовании спектрофотометров встречается крайне редко, и всегда — в небольшой степени — при использовании зональных фотоэлектрических колориметров.

Но даже в случае неточности прибора необходимость в редакции LUT видеокарты и профайла монитора возникает только тогда, когда у пользователя нет возможности произвести тестирование измерительного устройства, то есть выполнить сверку его данных с данными высококлассного спектрофотометра (в первую очередь такого, как Spectrolino), и внести поправку в значения промеров.

### Редактирование LUT

Пакет Profile Maker не предоставляет наглядного инструмента для редактирования LUT, но последняя версия Calibration Tester дает возможность сохранения содержимого LUT в текстовом виде. Текстовый файл открывают в Microsoft Excel, конвертируют данные ячеек в числовой формат и строят графики. Графики Excel могут быть интерактивно редактируемы, но поскольку одновременный визуальный контроль результата редакции осуществить невозможно, приходится проводить «слепую» подгонку кривых LUT, периодически сохраняя промежуточный текстовый файл с последующей загрузкой его в Calibration Tester, а результат редакции приходится отслеживать по серому градиенту заглавной страницы Nokia Test.

Отредактированный таким способом файл сохраняют в текстовом формате и загружают в LUT при помощи Calibration Tester. Однако после перезагрузки компьютера старые неподходящие данные LUT вновь окажутся загруженными. Пользователю придется либо каждый раз заново «перешивать» LUT с помощью Calibration Tester, либо при правильной загрузке построить профайл, содержащий «vcgt» и пользоваться утилитой Display Profile.

### Редактирование профайла монитора

Редактирование профайла монитора осуществляется с помощью инструмента Gradaions программы Profile Editor из пакета Profile Maker. Редактируется только исходящая часть профайла (Lab→RGB), поскольку профайл монитора не используется в качестве рабочего устройства графических редакторов и его входящая часть не представляет для нас интереса.

Редактирование ведется под визуальным и инструментальным контролем тестового RGB- или Lab-изображения, а основным предметом редактирования чаще всего является отображение серого градиента. Если в качестве тестового используется RGB-изображение, то к нему обязательно должен быть прикреплен профайл устройства.

Инструментальный контроль осуществляется при помощи Measure Tool\Spot.

Редактирование профайла монитора (особенно при инструментальном контроле) — это очень долгий и кропотливый процесс, далеко не всегда заканчивающийся удачно, поэтому акцентируем внимание на том, что «лучшее лечение — это профилактика», то есть коррекция результатов измерений, предшествующая внесению поправок в LUT и построению профайла.

Для того чтобы коррекция измерений была точной, необходимо знать, каковы направление и величина ошибок данного измерительного прибора. Поэтому рекомендуем незадолго до приобретения измерительного устройства договориться с фирмой-продавцом о том, что в процессе покупки обязательно будет произведена сверка данных и чтобы для этих целей фирмой был предоставлен заведомо исправный спектрофотометр.

## **Работа CMS с профайлом монитора**

После построения профайла монитора Profile Maker сохраняет его в специально отведенную папку на C-диске;

для Windows 98 — это будет C:\Windows\System\Color,

для Windows 2000 — C:\Windows\System32\Color,

для Windows XP, Windows 2003 Server — C:\Windows\System32\Spool\Drivers\Color,

и ставит на него специальную программную метку, указывающую на то, что все приложения Windows должны пользоваться данным профайлом для экранной визуализации. Убедиться в том, что операционная система использует нужный профайл, можно, вызвав Display properties\Settings\Advanced\Color Management операционной системы (рис. 69).

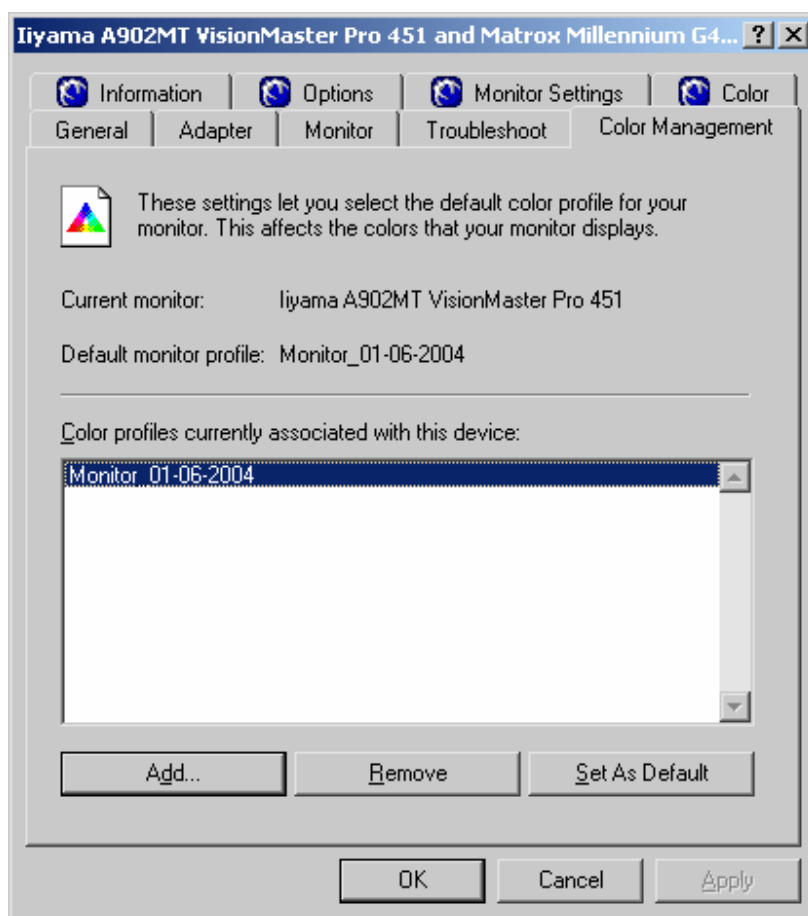


Рис. 69.

**Все новые графические приложения компании Adobe соблюдают это правило и для визуализации используют только тот профайл монитора, что установлен в операционной системе «по умолчанию». Поэтому в современных графических пакетах Adobe нет гнезда, где следует выставить профайл монитора, и лишь в Color Settings графической программы можно получить информацию о том, какой профайл монитора действует в данный момент.**

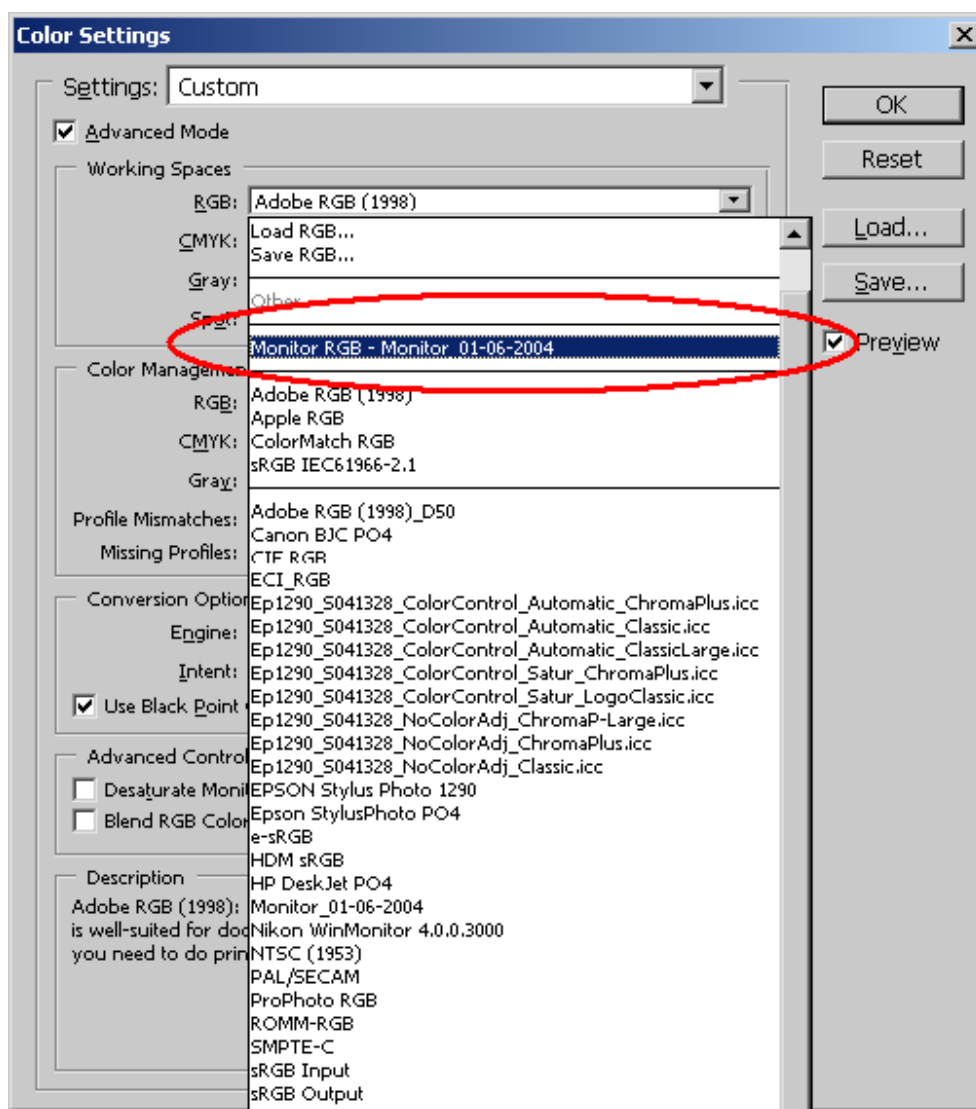


Рис. 70.

Графические приложения других производителей пока еще не соблюдают данное правило, но практически все из них «знают» о том, в какой папке хранятся профайлы устройств. При этом в интерфейсе их CMS есть соответствующее гнездо, в котором нужно указать нужный профайл. К таким приложениям относятся продукты Corel, Macromedia и ряда других производителей.

Если пользователь графических приложений Adobe пожелает сменить профайл монитора на другой, уже имеющийся, то ему придется войти в Display properties операционной системы и выполнить принудительную операцию замены профайла. Если же профайл еще только будет строиться с помощью Profile Maker, то, как мы уже сказали, после его создания программа самостоятельно выполнит операцию установки активного профайла монитора в операционную систему, автоматически заменив предыдущий.

Если в Display Properties операционной системы не установлен активный профайл монитора, то это вовсе не означает, что графические приложения, использующие CMS для



визуализации, будут посылать на видеокарту RGB-значения непосредственно из файла изображения. В этом случае в качестве профайла монитора автоматически используется sRGB-профайл (для MAC-систем — Apple RGB). Некоторые графические приложения при отсутствии реального профайла монитора используют профайл, параметры которого близки к sRGB или идентичны ему (Generic Monitor Profile).

Прежде чем говорить о собственно технологии использования профайла монитора графическими приложениями, следует сказать о том, что приложения по данному параметру делятся на три больших группы:

- приложения, располагающие собственной CMS;
- приложения, не располагающие собственной CMS, но использующие CMS операционной системы;
- приложения, не располагающие собственной CMS и не использующие CMS операционной системы.

К первой группе относятся «серьезные» графические пакеты Adobe, разнообразные программы сканирования (NewColor 7000 — Heidelberg, NikonScan — Nikon и проч.), пакеты Corel, Macromedia.

Ко второй группе относятся в основном приложения Microsoft: к примеру, WordXP, Internet Explorer, Outlook Express, Windows Picture and Fax Viewer (адекватно визуализируют только RGB-файлы, данные в которых являются координатами колориметров Apple RGB, Adobe RGB и проч.). Эти программы вызывают CMS Windows через систему API по мере необходимости, то есть при открытии графических файлов.

К третьей группе относятся «скромные» графические приложения, такие, как Microsoft Paint, различные файл-виверы. Эти программы посылают на видеокарту неизменный сигнал, то есть те значения, что прописаны в файле изображения. Визуализация файлов изображения этими программами недостоверна.

Какую бы CMS не использовало графическое приложение — свою собственную или CMS Windows — схема визуализации файла изображения у них общая:

1. Ресемплинг изображения в экранное разрешение.
2. Затем, в зависимости от типа графического файла, схемы визуализации выглядят так:

Тип данных в файле	Схема визуализации
RGB-файлы	
Аппаратные RGB-данные сканера (ЦФК)	RGB-данные в файле по профайлу сканера (табличный расчет) → $L^*a^*b^*$ → XYZ → на основании данных из профайла монитора по стандартным колориметрическим матрицам в RGB монитора
Аппаратные RGB-данные устройства, описываемого как трехстимульный колориметр (абстрактные идеальные устройства, мониторы и т.д.)	RGB-данные в файле + данные из профайла абстрактного устройства → на основании данных из профайла монитора по стандартным колориметрическим матрицам в RGB монитора <b>Примечание:</b> Гамма-предыскажение и гамма-компенсация опущены для простоты изложения.
Аппаратные RGB-данные печатающих устройств (фотоминилабы, настольные принтеры)	RGB-данные в файле по входящей части RGB-output профайла (табличный расчет) → $L^*a^*b^*$ → XYZ → на основании данных из профайла монитора по стандартным колориметрическим матрицам в RGB монитора

L*a*b*-файлы	
L*a*b*-координаты	L*a*b*→XYZ→ на основании данных из профайла монитора по стандартным колориметрическим матрицам в RGB монитора
СМΥК-файлы	
Аппаратные СМΥК-данные	СМΥК по входящей части СМΥК-профайла (табличный расчет)→ L*a*b*→XYZ→ на основании данных из профайла монитора по стандартным колориметрическим матрицам в RGB монитора
GRAY-файлы	
Аппаратные GRAY-данные устройств, описываемых аналитически (гамма-профайлы)	GRAY-данные в файле + данные из профайла → XYZ→на основании данных из профайла монитора по стандартным колориметрическим матрицам в RGB монитора
Аппаратные GRAY-данные устройств, не описываемых аналитически	GRAY-данные по входящей части GRAY-профайла→ L*a*b*→XYZ→на основании данных из профайла монитора по стандартным колориметрическим матрицам в RGB монитора

Визуализация с использованием Large-профайла монитора для всех перечисленных случаев аналогична приведенным схемам. Отличие состоит в том, что «→ по данным из профайла монитора по стандартным колориметрическим матрицам в RGB монитора» заменяется на «→ по исходящей части профайла монитора в RGB монитора (табличный расчет)».

Описанные выше расчеты автоматически выполняются всякий раз, как только:

- открывается графический файл;
- меняется экранный масштаб изображения;
- меняются значения в файле (цветокоррекция).

**Примечание:**

Программное обеспечение видеокарт по определению не имеет никакого отношения к профайлу монитора и никак с ним не взаимодействует. В сферу деятельности софта видеокарт может входить взаимодействие с LUT видеокарт, и лишь в том случае, если пользователь выполнял калибровку монитора с помощью программных средств видеокарты (данная методика не описывается в нашей статье).

## Gamut clipping при экранной визуализации файлов

Как при любом другом способе тиражирования, при экранной визуализации графических файлов происходит компрессия цветовых координат пикселей изображения в цветовой охват монитора. К сожалению, компрессии подвергаются не только внегамутные (по отношению к охвату монитора) цветовые ощущения, но часть цветовых координат, лежащих внутри охвата монитора.

Вернемся к уравнению визуализации (3), показанному в главе «Принцип работы CMS с монитором». Напомним:

$$\begin{bmatrix} r_{SONY} \\ g_{SONY} \\ b_{SONY} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{Adobe} \\ g_{Adobe} \\ b_{Adobe} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \zeta_{11} & \zeta_{12} & \zeta_{13} \\ \zeta_{21} & \zeta_{22} & \zeta_{23} \\ \zeta_{31} & \zeta_{32} & \zeta_{33} \\ \rho_{11} & \rho_{12} & \rho_{13} \\ \rho_{21} & \rho_{22} & \rho_{23} \\ \rho_{31} & \rho_{32} & \rho_{33} \end{bmatrix} \quad (3)$$

где для системы уравнений (1)  $\zeta_{11} \dots \zeta_{43}$  известны из спецификации колориметра Adobe RGB, а для системы уравнений (2)  $\rho_{11} \dots \rho_{43}$  известны благодаря измерениям кардинальных стимулов SONY с помощью фотоэлектрического колориметра или спектрофотометра.

Поскольку цветовой охват AdobeRGB больше охвата монитора Sony, значения удельных коэффициентов  $r_{SONY}, g_{SONY}, b_{SONY}$  могут оказаться больше единицы. Это будет означать, что цветовое ощущение, записанное в файл изображения в координатах Adobe RGB, невоспроизводимо на колориметре SONY и что данное цветовое ощущение для колориметра SONY является *внегамутным*, то есть лежит вне охвата последнего. Мы не можем отказаться от осмысленной визуализации таких пикселей, поэтому мы вынуждены уменьшать числители дробей до тех пор, пока значения  $r_{SONY}, g_{SONY}, b_{SONY}$  не станут меньше или по крайней мере равны единице. В этом случае стимул с получившимися значениями удельных коэффициентов кардинальных стимулов монитора SONY вызовет цветовое ощущение, *похожее* на исходное, но не идентичное ему. Такое уменьшение удельных коэффициентов и будет представлять собой gamut clipping при переходе от системы координат одного колориметра к системе координат другого колориметра, в нашем случае — при экранной визуализации файлов изображений.

Понятно, что коэффициенты, уменьшающие долю стимулов X, Y и Z в числителях, не могут быть выбраны произвольно и должны подчиняться некоей логике, основанной на принципах репродуцирования изображений. Такая логика является know-how компании, создавшей CMS операционной системы или графического редактора.

## Использование монитора как цветопробного устройства

В большинстве случаев конечной целью настройки монитора является демонстрация предполагаемого результата печати (экранная цветопроба). Такая демонстрация недостижима без предварительной колориметрической настройки монитора как самостоятельного и полноценного устройства визуализации.

**Привычная для многих «подгонка под» печатный станок, цветопробный принтер, фотоминилаб, осуществляемая с помощью кнопок передней панели дисплея (или при помощи редакции профайла монитора), по определению не может дать необходимого результата.**

Собственно экранной цветопробой будут являться и *достоверный показ «цветоделенных» файлов* (СММК-файлов или файлов, содержащих RGB-output-данные), и т.н. *экранный пруфинг*, когда с помощью специальных опций демонстрируется, как будет

выглядеть данное «нецветоделенное» изображение, если его воспроизвести на том или ином печатающем устройстве.

**Примечание:**

Наилучшими, на наш взгляд, являются схемы визуализации, реализуемые следующими СММ: HDM (Heidelberg), LogoSync СММ (Gretag Macbeth), ACE СММ (Adobe), Apple СММ, Nikon СММ (Nikon) и Imation CFM (Imation).

СММ среднего качества — ICM 2.0 (Microsoft).

Худшие результаты дает визуализация на базе Kodak Digital Science (Macromedia FreeHand, Corel Draw, Corel Ventura, Adobe Page Maker, Quark Xpress).

Последнее обновление программы FreeHand MX до версии 11.02 подключает модуль Kodak Digital Science версии 5.1.1.0 (файл kodakcms.dll). Этим же файлом можно заменить имеющийся и в программах Corel. Визуализация при помощи Kodak Digital Science версии 5.1.1.0 существенно улучшает качество экранного отображения файлов и экранной цветопробы, однако, по-прежнему уступает перечисленным лучшим СММ.

Продукты Corel последних версий в качестве альтернативного СММ предлагают ICM 2.0, но корректной визуализации на базе этого модуля программисты Corel выполнить пока не смогли.

В первом случае, то есть при достоверном показе «цветоделенных» файлов, изображение колориметрически **уже сжато в охват устройства назначения**, к изображению прикреплен профайл целевого устройства, а пикселы содержат информацию об аппаратных данных печатного устройства (СМУК, RGB-output-данные).

В этом случае, как было показано в главе «Работа CMS с профайлом монитора», для достоверной визуализации данных из файла CMS проводит следующие преобразования:

$СМУК \rightarrow L^*a^*b^* \rightarrow XYZ \rightarrow RGB$  монитора

*или*

$RGB\ output \rightarrow L^*a^*b^* \rightarrow XYZ \rightarrow RGB$  монитора.

Добавим, что:

Intent на стадии  $СМУК \rightarrow L^*a^*b^*$  (или  $RGB\ output \rightarrow L^*a^*b^*$ ) — Relative colorimetric, это означает, что независимо от абсолютных значений цветовых координат белой и черной точек цифрового изображения (то есть независимо от того, каков его реальный контраст), при данном способе экранной визуализации контраст изображения на экране окажется равным контрасту монитора.

**Примечание:**

Поскольку энергетический контраст большинства оттисков не превышает 2.1D, а контраст монитора, как правило не ниже 2.4D, в большинстве случаев происходит т.н. *экранная декомпрессия* цветового охвата изображения. При этом хроматические соотношения между пикселями изображения остаются неизменными.

Несмотря на то, что энергетические контрасты оттисков, как правило, меньше, чем энергетический контраст мониторов (см. главу «Механизмы адаптации зрения. Освещение на рабочем месте»), при последовательном (раздельном) просмотре отпечатка и монитора их визуальный контраст будет одинаковым за счет адаптации зрения по контрасту.

Такое экранное отображение файла можно использовать для подготовки изображений к печати на удаленных предприятиях. Отметим, что под «удаленной» мы понимаем печать, которая удалена от экранного изображения не только в пространстве, но и во времени: печатный станок может находиться в нескольких шагах от места цветокорректора, но отсрочка, связанная с подготовкой тиража к печати, вполне достаточна, чтобы переадаптироваться и не увидеть разницы в изображениях. При попытке одновременного сравнения разница в контрасте будет отчетливо видна (рис. 71).



Рис. 71. При одновременном сравнении отличия в контрасте и цветовом охвате изображений отчетливо видны.

Во втором случае (экранный пружинг) **данные в файле остаются неизменными, все преобразования автоматически проводятся с дубликатом данного файла изображения** при низком разрешении и только для отображения на мониторе.

Для осуществления экранного пружинга в зависимости от типа данных в файле изображения CMS проводит следующие преобразования:

RGB-данные сканера или ЦФК  $\rightarrow L^*a^*b^* \rightarrow$  CMYK-данные устройства печати (или RGB output-данные)  $\rightarrow L^*a^*b^* \rightarrow XYZ \rightarrow$  RGB монитора

*или*

RGB-данные абстрактного трехстимульного колориметра  $\rightarrow XYZ \rightarrow L^*a^*b^* \rightarrow$  CMYK-данные устройства печати (или RGB output-данные)  $\rightarrow L^*a^*b^* \rightarrow XYZ \rightarrow$  RGB монитора

*или*

Lab-данные  $\rightarrow$  CMYK-данные устройства печати (или RGB output-данные)  $\rightarrow L^*a^*b^* \rightarrow XYZ \rightarrow$  RGB монитора.

Во всех случаях intent на стадии « $\rightarrow L^*a^*b^*$ », также как и в случае достоверного показа, — Relative.

Отличием экранного пружинга от достоверного показа содержимого файла является еще и то, что файл изображения в данном случае хранит максимально возможную колористическую информацию об изображении, так как на весь период цветокоррекции он остается в аппаратных данных RGB-устройства с большим охватом (к примеру, сканер, ЦФК, абстрактный колориметр — sRGB, AdobeRGB), либо непосредственно в цветовых координатах  $L^*a^*b^*$  (Lab-файлы). Цветокорректор видит на экране изменения, которые возникнут в результате конверсии файла по профайлу печатного устройства, и принимает необходимые меры, не теряя при этом исходных данных.

**Примечание:**

Другими словами: возможность осуществления экранного пружинга — это услуга, предоставляемая графическими программами. Механизм ее реализации заложен в CMS данного графического редактора.

Программы, располагающие собственной CMS, как правило, всегда имеют опции экранного пружинга. Однако те программы-визуализаторы, которые используют CMS Windows, таких опций не имеют, и экранный пружинг с их помощью неосуществим. Материал, посвященный конкретным настройкам опций экранного пружинга ряда графических редакторов, можно найти в приложении.

Экранный пружинг также предполагает последовательное сравнение изображения на экране с отпечатком на просмотрном месте.

Колориметрические расчеты для достоверного отображения файла и экранного пружинга теоретически никаких трудностей для CMS представлять не должны, однако, возникают две серьезные проблемы:

1. Монитор не всегда способен воспроизвести все цветовые ощущения, заложенные в файл изображения.

2. Энергетические яркости белой и черной точек монитора и отпечатка чаще всего не совпадают, что приводит к различию в их восприятии при одновременном рассматривании.

Причиной первой проблемы является частое несовпадение охватов монитора и печатающего устройства (рис. 72).

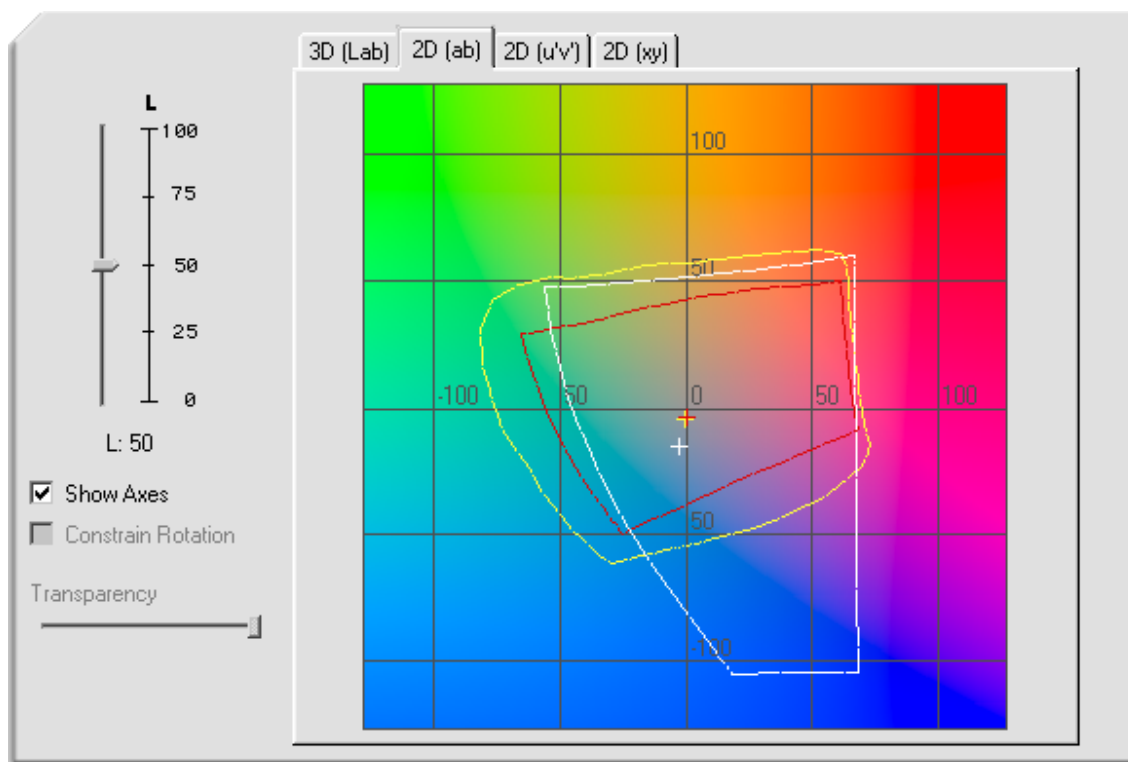


Рис. 72. Показаны охваты монитора с дисплеем Sony GDM F520 (белая линия), стандартного офсетного процесса на мелованных бумагах Euroscale Coated (красная линия), струйного принтера Epson 2100 на бумаге S041328 в сечении на уровне L50.

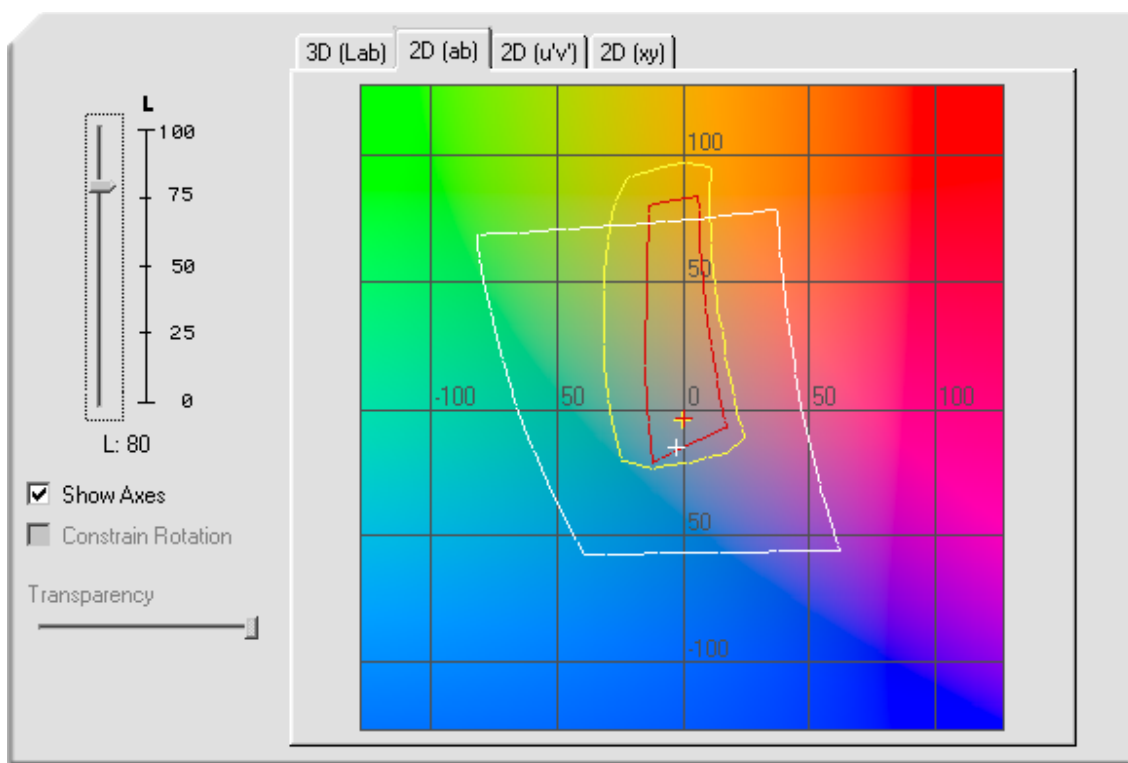


Рис. 73. Показаны охваты монитора с дисплеем Sony GDM F520 (белая линия), стандартного офсетного процесса на мелованных бумагах Euroscale Coated (красная линия), струйного принтера Epson 2100 на бумаге S041328 в сечении на уровне L80.

Современные мониторы не могут воспроизвести:

- насыщенные голубые тона в диапазоне 30–60L, легко воспроизводимые голубыми красками офсетного процесса и струйных принтеров;
- насыщенные желтые тона в районе 75–90L, легко воспроизводимые желтыми красками офсетного процесса и струйных принтеров;
- насыщенные фиолетовые и пурпурные тона в районе 25–50L, легко воспроизводимые бинарами принтеров (рис. 74).

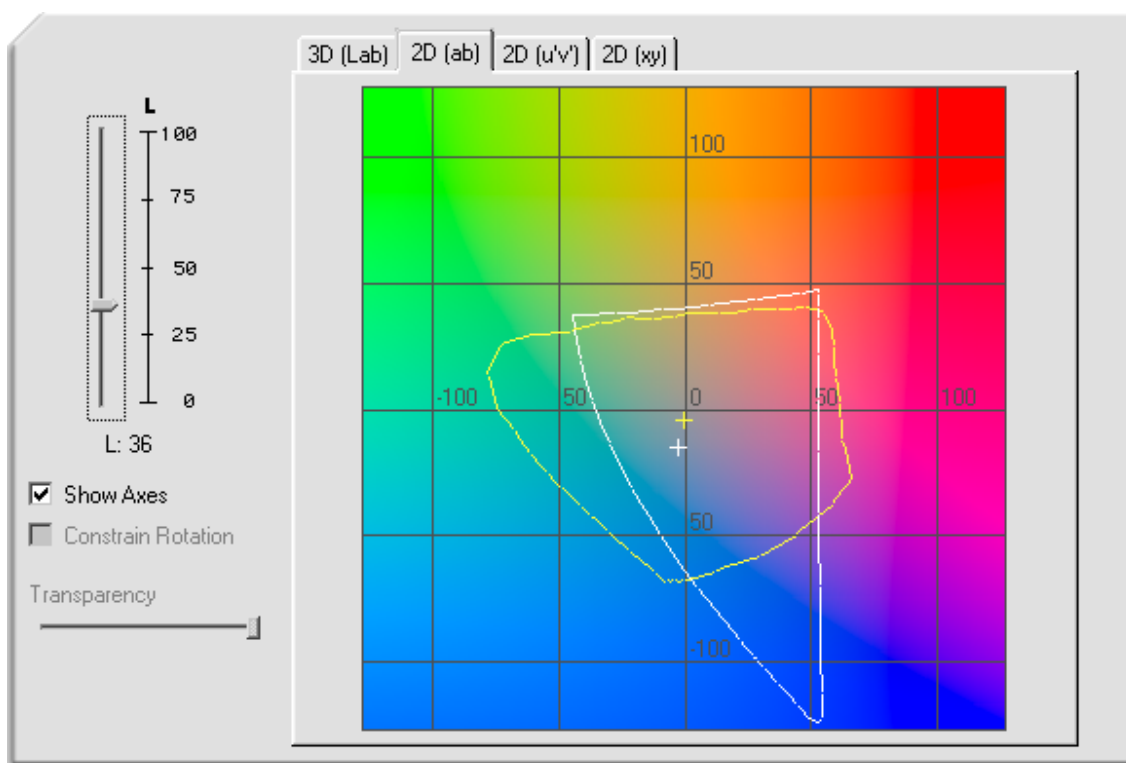


Рис. 74. Показаны охваты монитора с дисплеем Sony GDM F520 (белая линия) и струйного принтера Epson 2100 на бумаге S041328 в сечении на уровне L36.

Понятно, что данной проблемы не возникнет, если цветовой охват монитора будет больше цветового охвата печатающего устройства. Однако современные мониторы имеют недостаточную спектральную чистоту кардинальных стимулов и, следовательно, недостаточный цветовой охват.

Как уже говорилось, при экранной визуализации изображений CMS вынуждена прибегать к *gamut mapping (clipping)*. Цветокорректор должен учитывать данную особенность мониторов и контролировать отображение невоспроизводимых монитором цветов по панели *info* графического редактора или при помощи функции *Gamut Warning*.

Вторая проблема (несовпадение энергетических яркостей белых и черных точек монитора и отпечатка) становится актуальной тогда, когда требуется *одновременное сравнение* отпечатка с изображением на экране. Белая и черная точки, и соответственно энергетический контраст, у сравниваемых изображений должны быть одинаковыми, только в этом случае (при прочих равных условиях) изображения на мониторе и отпечатке будут одинаковыми визуально.

**Примечание:**

Необходимость одновременного сравнения возникает довольно часто: в фотостудиях, когда тиражный оттиск появляется практически сразу, и нужно убедиться в том, что он соответствует задуманному изображению; при печати принтерной цифровой пробы, чтобы проверить, правильно ли она выполнена, и т.п.

Наиболее правильным способом уравнивания белой и черной точек монитора и отпечатка является изменение параметров монитора-колориметра, что может быть достигнуто как за счет OSD-панели, так и за счет изменений, вносимых в LUT.



Мы уже говорили, что всегда есть возможность настроить монитор-колориметр как цветопробное устройство, установив белую и черную точку за счет регулировок передней панели дисплея. Однако в этом случае мы сможем эмулировать на мониторе только *один* печатный процесс.

Использование монитора как полифункциональной системы в большинстве случаев позволяет проводить одновременное сравнение экранного изображения с оттисками, выполненными с помощью различных печатных процессов. Для перехода от одного профайла к другому достаточно загрузить в операционную систему соответствующий профайл монитора, vsgt которого содержит такие данные LUT, которые уравнивают белую точку монитора с тиражной поверхностью на просмотрном месте. При этом удобно пользоваться утилитой Display Profile — она позволяет моментально активизировать в системе нужный профайл (рис. 75). Такие профайлы должны быть построены пользователем заранее.



Рис. 75. Утилита Display Profile.

Когда тем или другим способом совпадение белой и черной точек будет достигнуто, изображение на экране будет являться практически *физиологической копией* потенциального оттиска (если не считать неизбежного gamut mapping (clipping) экранной визуализации), которая имеет одинаковый с оттиском энергетический контраст и почти идентичные цветовые координаты объектов (рис. 76).



Рис. 76. Одновременное сравнение экранного изображения и оттиска при уравненных белой и черной точках — отличия в контрасте и цветовом охвате изображений практически незаметны.

**Примечание:**

Физиологическая копия характеризуется тем, что сохраняет абсолютные значения цветовых координат объектов оригинала.

При необходимости одновременного сравнения лист тиражной бумаги устанавливают на просмотрном месте, вызывают Measure Tool\Monitor\Step1\Paper White и при поддержке Color Lab 2.77\Special\Color Calculator *визуально*<sup>22</sup> уравнивают светлоту и цветность белой точки экрана со светлотой и цветностью тиражной поверхности. Результат сохраняют в виде отдельного референса.

К примеру: Krasnokamsk-Uncoated\_150g.txt

Затем выполняют колориметрию патчей в Profile Maker 5.x.x\Monitor по стандартной схеме и строят профайла монитора. Данные из действующего LUT будут автоматически занесены программой в vsgt профайла, а утилита Display Profile в дальнейшем позволит пользователю оперативно выбирать нужный профайл.

К сожалению, данный вариант действий возможен, только если черные точки тиражных устройств энергетически более или менее близки друг к другу. Если же их отличие велико, то ситуация резко усложняется, так как на сегодняшний день потребуется аппаратная коррекция яркости черной точки монитора за счет OSD-панели, что лишит монитор полифункциональности. Однако мы надеемся, что фирма GretagMachbeth в ближайшее время предусмотрит возможность LUT-регулировки черной точки.

**Примечание:**

Альтернативным способом уравнивания белой и черной точек монитора и отпечатка является использование команд «Paper White» и «Ink Black» при включении соответствующих опций экранного пружинга в графическом редакторе. Экранный пружинг графических редакторов в данном случае воспроизводит цветные

<sup>22</sup> Еще раз обращаем внимание на то, что зрение тренированного наблюдателя (оператора) обеспечивает очень высокую точность уравнивания.

координаты белой и черной точек тиражного устройства за счет того, что Intent на стадии  $CMYK \rightarrow L^*a^*b^*$  (или  $RGB \text{ output} \rightarrow L^*a^*b^*$ ) выполняется по Absolute colorimetric<sup>23</sup>.

По идее, активизация этих флажков должна приводить белую и черную точку отображаемого файла к точным колориметрическим значениям этих точек на отпечатке. Однако существенным недостатком программного экранного пружинга является то, что при расчете экранного показа черной точки тиражного устройства, как правило, допускается ошибка, связанная с тем, что графическому редактору неизвестно, каков реальный энергетический контраст данного монитора — в профайле монитора нет информации об абсолютных координатах его черной точки (что на наш взгляд является недоработкой ICC). Поэтому, выполняя компрессию по Absolute, графический редактор вынужден принимать черную точку монитора за  $X=0Y=0Z=0$ , что не соответствует действительности. В результате компрессия чаще всего оказывается слишком сильной, а энергетический контраст цветопробного изображения на экране ниже, чем у оттиска.

Для того чтобы компенсировать данный недочет, можно попробовать при калибровке монитора, рассчитанного на организацию нескольких видов цветопроб, добиваться максимально возможного энергетического контраста (желательно 2,9–3,0D) и тем самым минимизировать искажение при тоновой компрессии.

## Ошибки и неудачи, возникающие при колориметрической настройке мониторов

Авторы отдают себе отчет в том, что теоретический материал данной статьи, скорее всего, читателем пропущен или прочитан «по диагонали». Обращаем внимание на то, что весь практический материал основан на принципах и положениях, изложенных в теоретических главах, поэтому настоятельно рекомендуем вернуться к их изучению. Механическое выполнение практических шагов может, конечно, привести к вполне удовлетворительному результату, но может и не привести. Без понимания сути процессов и знания основ колориметрии невозможно получить предсказуемый и устойчиво повторяемый результат.

Прежде чем приступить к подробному рассмотрению основных проблем, отметим, что **львиная доля неудач связана с беспечным отношением руководства предприятий к общетеоретической подготовке цветокорректоров и организации их рабочих мест, то есть к созданию digital darkroom по стандарту ISO**. К сожалению, в подавляющем большинстве случаев комната цветокорректоров представляет собой помещение, где на потолке установлены светильники с дешевыми люминесцентными лампами, дающими неровный, «рваный» спектр, избыточную яркость, а также имеющими низкое значение CRI. Окна, как правило, вместо плотных нейтральных штор имеют лишь светлые полупрозрачные жалюзи, а отсутствие кондиционера приводит к тому, что фрамуги часто оказываются открытыми, и солнечный свет заливает все помещение. В редкой дизайн-студии или цифровой фотолаборатории встретишь козырьки на дисплеях, измерительное оборудование, а специализированные просмотрные устройства представляют собой исключительную редкость.

Как правило, настройщик, приглашаемый в организации, сталкивается именно с таким положением дел, а его попытки произвести отладку подчас оказываются тщетны.

Ошибки и неудачи, возникающие при настройке мониторов, можно разделить на две больших категории: низкое качество настройки монитора как самостоятельного устройства и низкое качество экранной цветопробы.

---

<sup>23</sup> Экранный пружинг графических программ Adobe позволяет при необходимости включать эмуляцию одной только черной точки тиражных устройств без эмуляции белой, что иногда может быть очень удобным в работе.

К отдельной (третьей) категории мы отнесли аппаратно-программные сбои, не связанные с ошибками пользователя.

Для удобства изложения наиболее часто встречающиеся проблемы, причины их возникновения и способы решения мы расположили в таблице. Проблемы расположены в порядке убывания вероятности возникновения. Причины возникновения проблем также расположены в порядке убывания вероятности.

Проблема	Возможные причины возникновения	Способ решения
<b>Настройка монитора как самостоятельного цветовоспроизводящего устройства</b>		
Любая проблема	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Невыполнение команды «Reset All Parameters» («All Reset») на передней панели дисплея перед началом работ.</li> <li>2. Недостаточный прогрев дисплея перед началом работ.</li> <li>3. Бликование ярких предметов на экране, внешняя подсветка экрана.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Выполнение команды «Reset All Parameters» («All Reset») и повтор всех мероприятий.</li> <li>2. Прогрев дисплея и повтор всех мероприятий.</li> <li>3. Устранение бликов и внешней подсветки. Повтор всех мероприятий.</li> </ol>
Серый Lab-градиент имеет выраженные хроматические участки.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. В операционной системе установлена разрядность экранного представления цвета 16 бит.</li> <li>2. Возможный сбой измерения одного-двух патчей в пятом степе.</li> <li>3. Плохо сфокусированы и/или сведены лучи катодных пушек дисплея.</li> <li>4. Использование колориметра для настройки монитора, у которого срок службы дисплея превышает 5 лет.</li> <li>5. Большие отличия поканальных native gammas.</li> <li>6. Слишком низкая энергетическая яркость белой точки.</li> <li>7. Дефект измерительного прибора.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установка 32-битного представления.</li> <li>2. Повтор пятого степа.</li> <li>3. Фокусировка лучей катодной пушки при помощи регуляторов, скрытых в корпусе аппарата (выполняется специалистом по телевизионной технике) Тщательное сведение лучей кнопками передней панели дисплея. Выбор вблизи центра экрана участка с наилучшей фокусировкой и сведением лучей и размещение на нем апертуры измерительного устройства. Повтор измерений.</li> <li>4. Использование спектрофотометра.</li> <li>5. Коррекция RGB bias.</li> <li>6. Увеличение энергетической яркости белой точки.</li> <li>7. Замена измерительного прибора. Для X-Rite DTP-92 часто оказывается полезным «отдых» в течение 30–45 минут и/или охлаждение прибора до +4 ...+10°C</li> </ol>
Высокие значения dE при контроле качества профайла.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Возможный сбой измерения одного-двух патчей тест-карты при построении профайла.</li> <li>2. Низкая частота экранной развертки — измерение одного-двух патчей тест-карты пришлось на послесвечение экрана.</li> <li>3. Ошибки, допущенные при конверсии аппаратных данных тесткарты в L*a*b*.</li> <li>4. Для LCD-дисплеев: деформация поверхности экрана под давлением измерительного устройства.</li> <li>5. Для LCD-дисплеев: неправильный выбор угла</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повторный промер и построение профайла. Отличные результаты дает серийный промер тест-карты с последующей отсортировкой бракованных референсов (как правило, 1 на 5 серий промеров) и усреднением оставшихся.</li> <li>2. Увеличение частоты экранной развертки.</li> <li>3. Повторная конверсия аппаратных данных тест-карты в L*a*b*.</li> <li>4. Ослабить давление.</li> <li>5. Изменить угол измерения (зависит от типа матрицы).</li> <li>6. Построение Large-профайла.</li> </ol>

	<p>прибора по отношению к поверхности LCD-дисплея. Разница может составить 5 dE и выше.</p> <p>6. Для LCD-дисплеев: непропорциональное изменение СРЭ при изменении интенсивности кардинальных стимулов.</p>	
<p>Резкая потеря градаций в тенях изображений. Контрольные цифры тестового изображения плохо читаются или не читаются совсем.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вместо default ошибочно построен и используется Large-профайл монитора.</li> <li>2. Неверно выставлена энергетическая яркость черной точки.</li> <li>3. Аппаратный дефект дисплея, при котором монитор не может обеспечить требуемую энергетическую яркость черной точки (часто встречается у дисплеев Iiyama).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Перепостроение профайла по default.</li> <li>2. Повтор третьего, четвертого и пятого степеней.</li> <li>3. Замена дисплея. Если замена невозможна, имеют смысл попытки привести монитор к меньшей гамме, например, к 1,8-1,5.</li> </ol>
<p>После промеров, выполненных пятым шагом Measure Tool\Monitor, белая точка резко отклоняется от цветовой температуры, достигнутой за счет аппаратных настроек в четвертом шаге.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Низкая частота экранной развертки — измерение патча 255 255 255 пришлось на послесвечение экрана.</li> <li>2. Видеокарта низкого качества.</li> <li>3. Программный баг драйвера видеокарты</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Увеличение частоты экранной развертки.</li> <li>Повтор пятого шага. Возможен неоднократный повтор.</li> <li>2. Замена видеокарты.</li> <li>3. Обновление драйвера видеокарты.</li> </ol>
<p>Энергетическая яркость белой точки не доходит до нижней границы ISO-стандарта (&lt;80 cd/m<sup>2</sup>)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ошибочно выбран параметр дисплея Video Level 1V.</li> <li>2. Невыполнение команды «Reset All Parameters» («All Reset», «Recall») на передней панели дисплея перед началом работ.</li> <li>3. Недостаточный прогрев дисплея перед началом работ.</li> <li>4. «Состарившийся» дисплей.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Выбор Video Level 0,7V.</li> <li>2. Выполнение команды «Reset All Parameters» («All Reset») и повтор всех мероприятий.</li> <li>3. Прогрев дисплея и повтор всех мероприятий.</li> <li>4. Замена дисплея.</li> </ol>
<b>Использование монитора как цветопробного устройства</b>		
<p>Любая проблема</p>	<p>Возможные неудачи при настройке монитора как самостоятельного цветовоспроизводящего устройства</p>	<p>Исключить ошибки настройки монитора как самостоятельного цветовоспроизводящего устройства.</p>
<p>Резкое несоответствие голубых тонов пробного изображения на экране и голубых тонов отпечатка</p>	<p>Несоответствие цветовых охватов монитора и тиражного устройства</p>	<p>Неустранимо.</p>
<p>Общее несоответствие пробного изображения и оттиска</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Неправильное и нестабильное освещение на просмотрном месте. Отсутствие специализированных просмотрных устройств. Использование освещения с низким качеством источников или внешнего (дневного)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Организация digital darkroom по ISO 3664.</li> <li>2. Правильный выбор профайла тиражного устройства.</li> <li>3. Обновление версии CMM Kodak Digital Science.</li> </ol>

	освещения в качестве просмотрового. 2. Неправильный выбор профайла тиражного устройства. 3. Низкое качество СММ.	
Несоответствие экранной эмуляции цвета тиражной поверхности при организации пробы по «Paper White» (редакторы Adobe) или «Absolute colorimetric» (Corel Draw, Corel Ventura, Macromedia FreeHand)	1. Низкая энергетическая яркость белой точки монитора и освещенности просмотрового места. 2. Смена сорта поверхности (бумаги) без построения нового профайла тиражного устройства. 3. Неправильный выбор профайла тиражного устройства в опциях экранной пробы. 4. Низкое качество СММ (Corel Draw, Corel Ventura, Macromedia FreeHand).	1. Повышение энергетической яркости белой точки монитора и освещенности просмотрового места. 2. Редакция профайла тиражного устройства: промер цветовых координат поверхности и замена ими старых в Profile Editor. 3. Правильный выбор профайла тиражного устройства. 4. Обновление версии СММ Kodak Digital Science.
<b>Аппаратно-программные сбои</b>		
<i>Общие</i>		
В интерфейсе первого степа Measure Tool/Monitor отсутствуют списки «Gamma» и «Brightness». Программа сообщает: «Your system does not support gamma curve adjustments. This tool helps you to adjust the white point of your monitor manually».	1. Отключен аппаратный ускоритель видеокарты. 2. Память видеоадаптера не имеет LUT-области (встречается в устаревших моделях видеокарт).	1. Включение аппаратного ускорителя: для PC — Display Tools/Settings/Advanced/Troubleshoot/Hardware acceleration → Full 2. Замена видеокарты или неполная калибровка, ограниченная аппаратной установкой параметров белой точки под контролем четвертого степа и построение Large-профайла.
Во втором степе Measure Tool/Monitor (установка черной точки) стрелка индикатора движется рывками или мечется, поймать центральное положение не удается или удается с трудом.	1. В операционной системе установлена разрядность экранного представления цвета 16 бит.	1. Установка 32-битного представления.
<b>Платформа PC</b>		
Специфичные для спектрофотометров GretagMacbeth		
Не отмечено	—	—
Специфичные для колориметра EyeOne Display		
Нет данных	—	—
<i>Специфичные для колориметра X-Rite DTP-92 (USB)</i>		
Ни одна из программ пакета Profile Maker 5.x.x не определяет измерительный инструмент.	Неподходящая версия драйвера устройства	Заменить драйвер (драйвер X-Rite DTP-92 USB)
Во втором степе Measure Tool/Monitor (установка черной	1. Конфликт колориметра с периферийными USB- или COM-	Отключение периферийных USB- и COM-устройств, выгрузка их

точки) стрелка индикатора движется рывками или мечется, поймать центральное положение не удается или удается с трудом.	устройствами. 2. Нагрев колориметра выше 23°C	программного обеспечения из автозапуска операционной системы, перезагрузка компьютера. 2. Охлаждение колориметра до 15-17 градусов.
Платформа Macintosh		
<i>Специфичные для спектрофотометров GretagMacbeth</i>		
Ни одна из программ пакета ProfileMaker 5.x.x не определяет спектрофотометр.	1. При подключении через Serial Port — неправильно выбран порт или порт занят другой программой. 2. При подключении через USB-порт — недостаточное питание для переходника Serial→USB.	1. Выбрать нужный или освободить порт (выйти из программ). 2. Использовать USB-порт системного блока, а не клавиатуры.
<i>Специфичные для колориметра EyeOne Display</i>		
Нет данных	—	—
<i>Специфичные для колориметра X-Rite DTP-92</i>		
Те же, что и на PC	—	—

## Патронаж колориметрически настроенных мониторов

Срок службы профессионального CRT-дисплея примерно семь лет. За этот период происходит т.н. «старение» люминофоров: постепенное снижение их относительной световой отдачи и некоторое изменение спектральных характеристик. Последнее чаще всего проявляется в смещении пиков в сторону больших длин волн. При этом монитор не теряет свойств трехстимульного визуального колориметра, а регулярная проверка и колориметрическая подстройка позволяют эффективно эксплуатировать аппарат весь срок его службы. Колориметрически старение люминофоров в основном проявляет себя в постепенном понижении энергетической яркости белой точки и плавном понижении ее цветовой температуры. График старения люминофоров CRT-дисплея показан на рис. 77.

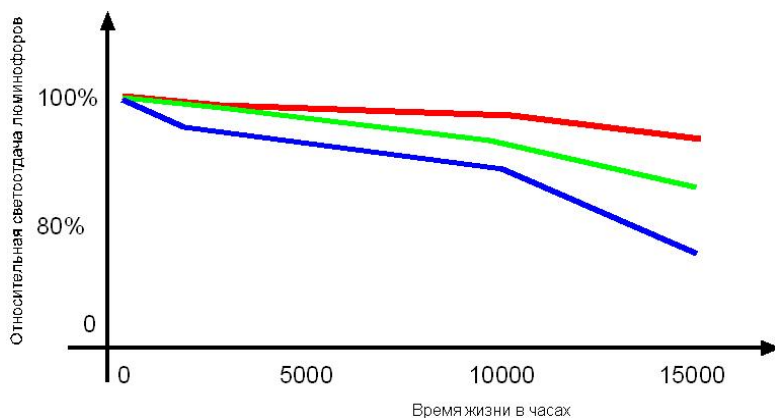


Рис. 77. График старения люминофоров CRT-дисплея (по данным Varco).



Широко распространено мнение, будто видеосистемы после калибровки требуют регулярной колориметрической проверки и подстройки, которая должна проводиться чуть ли не каждый день или, по крайней мере, один раз в неделю. Столь категоричное мнение ошибочно: опыт настройки и патронажа десятков мониторов свидетельствует о том, что причиной отклонений параметров настройки от требуемых значений в абсолютном большинстве случаев является неквалифицированное вмешательство операторов в эти настройки, а также беспечное отношение к освещению на рабочем месте (произвольная смена интенсивности и характера освещения, дневной свет в помещениях дизайн-студий, изменение окраски стен и т.п.).

Стабильность работы профессиональных CRT-дисплеев очень высока: к примеру, ежемесячный замер в течение полутора лет белой точки дисплея SONY GDM F520 показал величину отклонения цветовых координат белой точки (dE) в пределах 0,13-0,27. За год это отклонение составило 1,1. Сходные результаты были получены при оценке стабильности гаммы и цветовых координат кардинальных стимулов. Стабильность колориметрических показателей дисплея Mitsubishi 2070 SB, снимавшиеся один раз в две недели в течение четырех месяцев, оказались примерно такими же, как и у SONY GDM F520. Таким образом, колориметрическая проверка работы калиброванного высококачественного монитора требуется не чаще, чем один раз в полгода-год.

Несмотря на то, что стабильность работы CRT-дисплеев очень высока, не следует спешить выполнять колориметрическую настройку монитора сразу после покупки дисплея: в первый месяц работы происходит резкое падение светоотдачи люминофоров (на 10-15%), а затем следует выход в стабильный рабочий режим. Поэтому, как мы говорили выше, перед настройкой дисплею следует дать поработать не меньше месяца.

Оператор, выполняющий колориметрическую настройку мониторов в разных организациях, может оградить себя от необходимости регулярных патронажных визитов в эти организации, если убедит пользователей графических станций: во-первых — не спешить с колориметрической настройкой мониторов со «свежекупленными» дисплеями, во-вторых — принять меры по защите кнопок передней панели дисплеев от несанкционированного доступа. Самой простой и вполне эффективной мерой защиты является заклеивание кнопок передней панели дисплея куском бумаги с предупреждающей надписью. Некоторые модели дисплеев имеют функцию «Lock», но эта мера не столь надежна, так как всегда найдется «умелец» (как правило, это системный администратор или новый сотрудник, считающий себя специалистом), который с легкостью вскрыет данную защиту.

Если аппаратные настройки дисплея остаются неизменными (при условии неизменности освещения на рабочем месте цветокорректора), а референсы калибровки и профайлы монитора надежно сохранены, то большинство возникающих проблем может быть решено путем телефонных консультаций.

**Примечание:**

Рекомендация настройщикам: по окончании работы референсы всех клиентов записывать на отдельный архивный носитель. Со временем накопится статистический материал, имеющий как прикладную, так и научную ценность.

К сожалению, авторы пока не располагают статистическими данными о «возрастных изменениях», свойственных LCD-дисплеям. Наблюдение за одним экземпляром EIZO GC-18 показало, что через год после приобретения ощутимо повысилась относительная остаточная яркость «синего» колоранта, что вероятнее всего связано с «износом» запирающих кристаллов. Также можно предположить, что со временем происходит естественное старение люминофоров источника света и изменение его спектральных характеристик.

Замена отдельных комплектующих компьютера (и даже материнской платы, при условии, что видеоадаптер остается прежним), смена операционной системы, обновление драйверов видеоадаптера, как правило, не требуют колориметрической перенастройки монитора. Замена же видеоадаптера (даже на экземпляр той же марки) всегда требует полной колориметрической перенастройки видеосистемы.

Отметим также, что на стабильности настроек CRT-дисплеев крайне неблагоприятно сказывается транспортировка, особенно в зимнее время.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### *Визуальная оценка качества источников освещения*

Инструментальная оценка индекса метамеризма источников освещения достаточно сложна. Для визуальной оценки источника освещения (по данному параметру) ISO рекомендует рассматривание оттисков, выполненных одним из следующих цветовоспроизводящих устройств (см. таблицу).

Цветовоспроизводящие устройства, рекомендованные ISO для визуальной оценки индекса метамеризма источников освещения

Процесс	Устройство
Electrophotography (dry toner)	Canon CLC 800 Xerox DocuColor 40
Electrophotography (liquid toner)	Indigo E-Print 1000
Ink jet (continuous)	Scitex Iris
Ink jet (solid)	HP Design Jet 750
Thermal transfer (dye sublimation)	Tektronix Phaser 440
Silver halide	Fuji Pictography 3000
Photomechanical	Fuji Color-Art

Если взять два экземпляра тестового изображения (в котором обязательно должен присутствовать нейтральный градиент и набор низконасыщенных патчей), выполненных, к примеру, струйным принтером HP DesignJet 750, и первый экземпляр расположить под светом источника, качество которого не вызывает сомнений, а второй экземпляр расположить под светом тестируемого источника, то:

— если оба изображения выглядят одинаково, то можно говорить о высоком качестве тестируемого источника;

— если между изображениями появляется выраженное тоновое и хроматическое отличие (особенно в «нейтральных» патчах), то говорят о низком качестве тестируемого источника.

Однако проведение даже такой процедуры связано с определенными, чаще сугубо организационными, сложностями, так как высококачественного источника, который можно использовать в качестве эталона, может не оказаться под рукой. Поэтому для контроля приобретаемого просмотрового оборудования можем посоветовать следующую методику.

В графическом редакторе готовят тестовое изображение, главным объектом которого является нейтральный градиент от L0 a0 b0 до L100 a0 b0 шириной не менее 1 см и длиной не менее 15 см. Дополнительно можно ввести в изображение набор патчей невысокой насыщенности, а также лицо человека. Печатают данное изображение размером примерно А4 на высококачественной полуглянцевой бумаге, не содержащей отбеливателей, с помощью спектрометрически характеризованного струйного принтера HP DesignJet 750 (рекомендован ISO), либо с помощью любого другого струйного принтера Hewlett Packard, либо при помощи характеризованного цифрового фотоминилаба на матовой бумаге Kodak Professional. Качество оттиска контролируют спектрометрически, промеряя нейтральный градиент в режиме относительных измерений по всему диапазону (программа Key Wizard 2.5). Если градиент лежит в нейтральном коридоре «шириной»  $dE=1,5$  (не считая самых глубоких теней и самых высоких светов), то изображение пригодно к использованию в качестве тестового.

**Внимание! Изображения, выполненные офсетным способом, не могут использоваться в качестве тестовых.**

Такое изображение рассматривают в свете тестируемого источника после его 15–20-минутного прогрева (в это время наблюдатель должен адаптироваться по свету данного источника). Диагностическую ценность имеет лишь впечатление, удерживающееся в течение первых 15–20 секунд.

Если индекс метамеризма данного источника достаточно мал, то градиент будет выглядеть нейтральным и каких-либо выраженных неравномерных хроматических сдвигов в нем не возникнет. Допускается появление легкого равномерного хроматического сдвига (рис. 78).

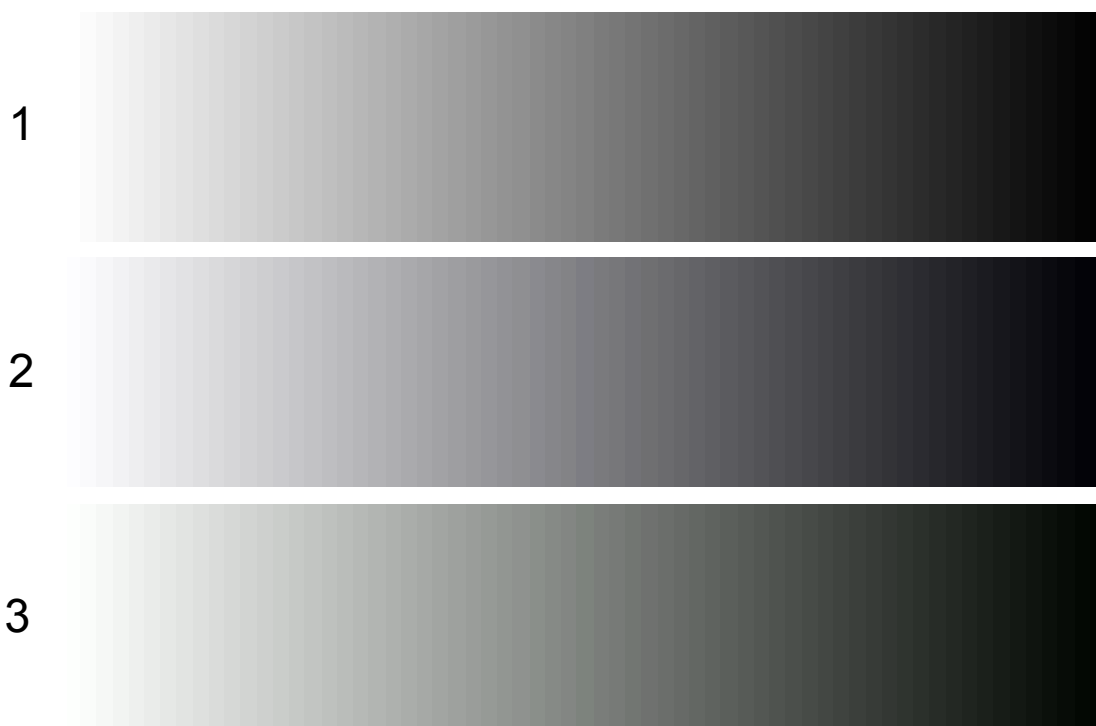


Рис. 78. Так выглядит тестовый градиент в свете источника с низким индексом метамеризма. 1 — отлично; 2 — легкий равномерный хроматический сдвиг в синюю сторону (допустимо); 3 — легкий равномерный хроматический сдвиг в зеленую сторону (допустимо).

Если индекс метамеризма велик, то градиент перестает быть нейтральным и в нем появляются неравномерные хроматические сдвиги или (реже) выраженный равномерный хроматический сдвиг (рис. 79).

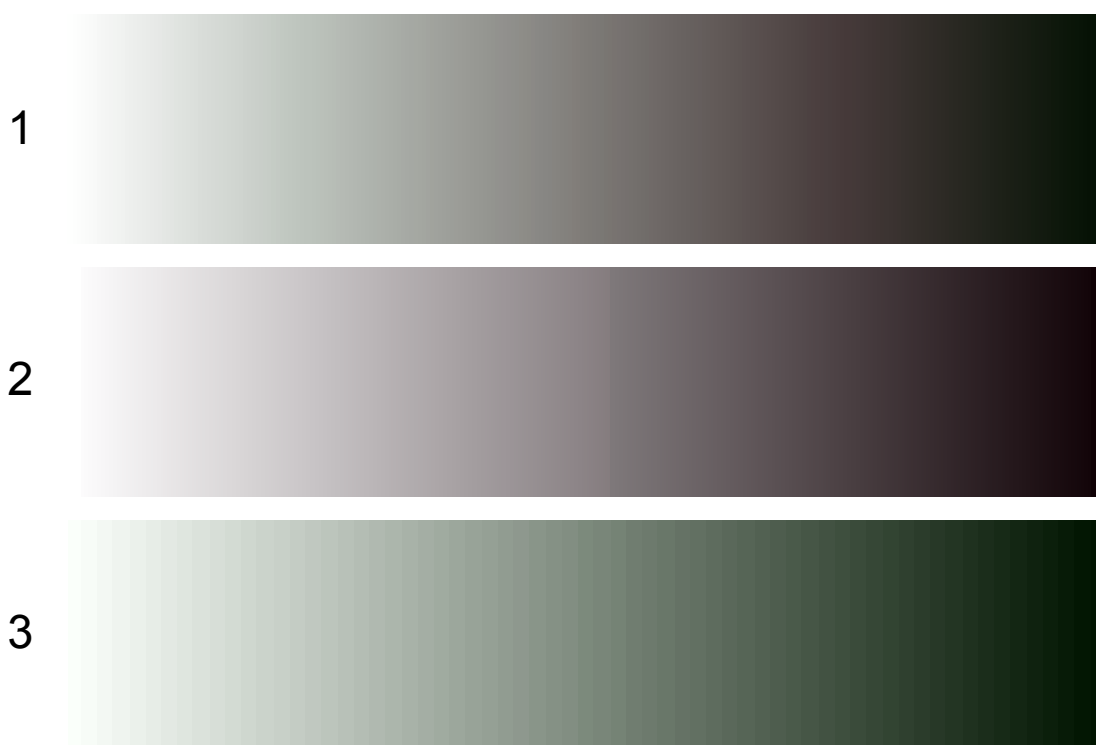


Рис. 79. Так выглядит тестовый градиент в свете источника с высоким индексом метамеризма. 1 — неравномерный хроматический сдвиг; 2 — выраженный равномерный хроматический сдвиг в пурпурную область (характерен для люминесцентных ламп PHILIPS); 3 — выраженный равномерный хроматический сдвиг в зеленую область (характерен для отечественных люминесцентных ламп и ламп OSRAM).

Пользователю, у которого нет возможности заранее подготовить тестовое изображение, остается лишь помнить о данном параметре оценки качества источников и о необходимости контролировать его по заводской спецификации изделия.

#### *Настройка видеосистем с двумя дисплеями*

С появлением в продаже графических плат с двумя-тремя видеовыходами широкую популярность приобрели графические станции, оснащенные двумя дисплеями, где дополнительный дисплей берет на себя функцию вспомогательного экрана, предназначенного для размещения палитр инструментов графического редактора.

С одной стороны, ограниченная миссия второго экрана не требует обязательного выполнения полной схемы колориметрической настройки, включающей в себя гамма-приводку и построение профайла, с другой стороны, необходимо, чтобы белая точка второго дисплея была колориметрически уравнена с белой точкой первого, то есть поддерживала единый уровень адаптации по белому (в противном случае видеосистему нельзя считать колориметрически настроенной, а результат цветокоррекции изображений достоверным). Поэтому первым и подчас единственно необходимым мероприятием является установка требуемой цветовой температуры и энергетической яркости белой точки при поддержке четвертого шага Measure Tool\Monitor.

Как мы уже сказали, гамма-приводка желательна, но необязательна, тем более что и по сей день производители программного обеспечения видеоадаптеров не могут добиться корректной и согласованной работы параллельного LUT.

Нет согласованности и в работе профайлов в двухдисплейных системах. В связи с таким положением дел мы не можем дать каких-либо внятных практических рекомендаций по гамма-приводке и характеристизации второго канала видеосистемы, но из сказанного очевиден вывод, что дополнительный дисплей должен отвечать следующим требованиям:

1. Иметь аппаратную функцию RGB gain (желательным является наличие и RGB Bias).
2. Обеспечивать энергетическую яркость белой точки не ниже, чем яркость белой точки основного дисплея при требуемой цветовой температуре.

Второе требование не является жестким: к примеру, если второй экран используется для размещения инструментария программ Adobe, где практически все поля имеют нейтрально-серый цвет, то влияния на светлотную адаптацию по белому не будет, а критичным окажется лишь требование единой хроматической адаптации.

Мы видим, что создание видеосистемы с двумя экранами требует ответственного выбора вспомогательного дисплея. Самой распространенной и досадной ошибкой является попытка установки в качестве дополнительного дисплея низкого (офисного) класса, который чаще всего не имеет RGB gain и не обеспечивает нужной энергетической яркости белой точки. По упомянутым причинам попытки регулировки цветовой температуры и энергетической яркости белой точки при помощи второго LUT скорее всего не дадут желаемого результата, и в конечном итоге вред от смещения точки хроматической адаптации будет существенно большим, чем удобство от освобождения полезной площади основного экрана.

### Настройка опций пружинга графических редакторов

Независимо от того, какой редактор осуществляет экранную цветопробу, схема ее работы всегда одинакова:

1. Ресемплинг файла изображения в экранное разрешение.
2. Выполнение преобразований, описанных в главе «Использование монитора как цветопробного устройства».

### Графические редакторы Adobe

В графических редакторах Adobe последних версий экранный пружинг организуется однотипно, поэтому рассмотрим ее лишь на примере Adobe Photoshop CS.

Во View\Proof Setup\Custom обнаруживаем следующие настройки:

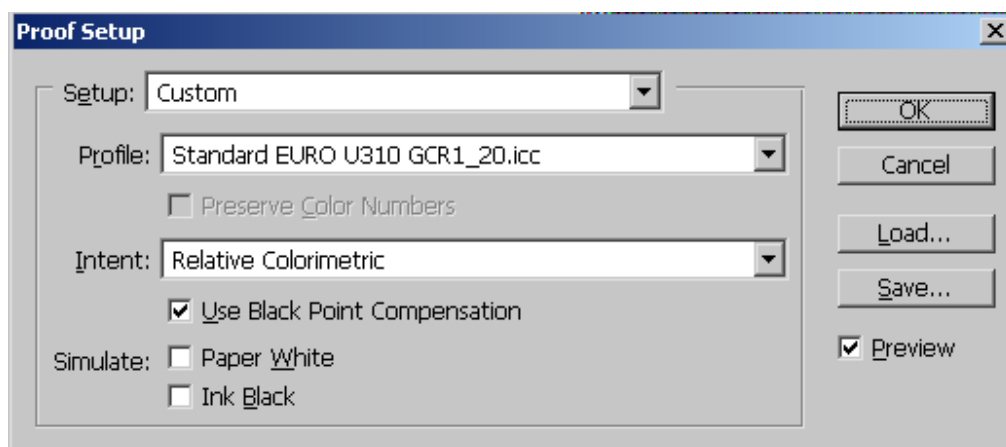


Рис. 80.

В списке «Profile» следует выбрать профайл того тиражного устройства, цветовоспроизведение которым нужно эмулировать на экране.

В списке «Intent» следует выбрать тот режим компрессии, который предполагается использовать при реальном «цветоделении» рабочего файла.

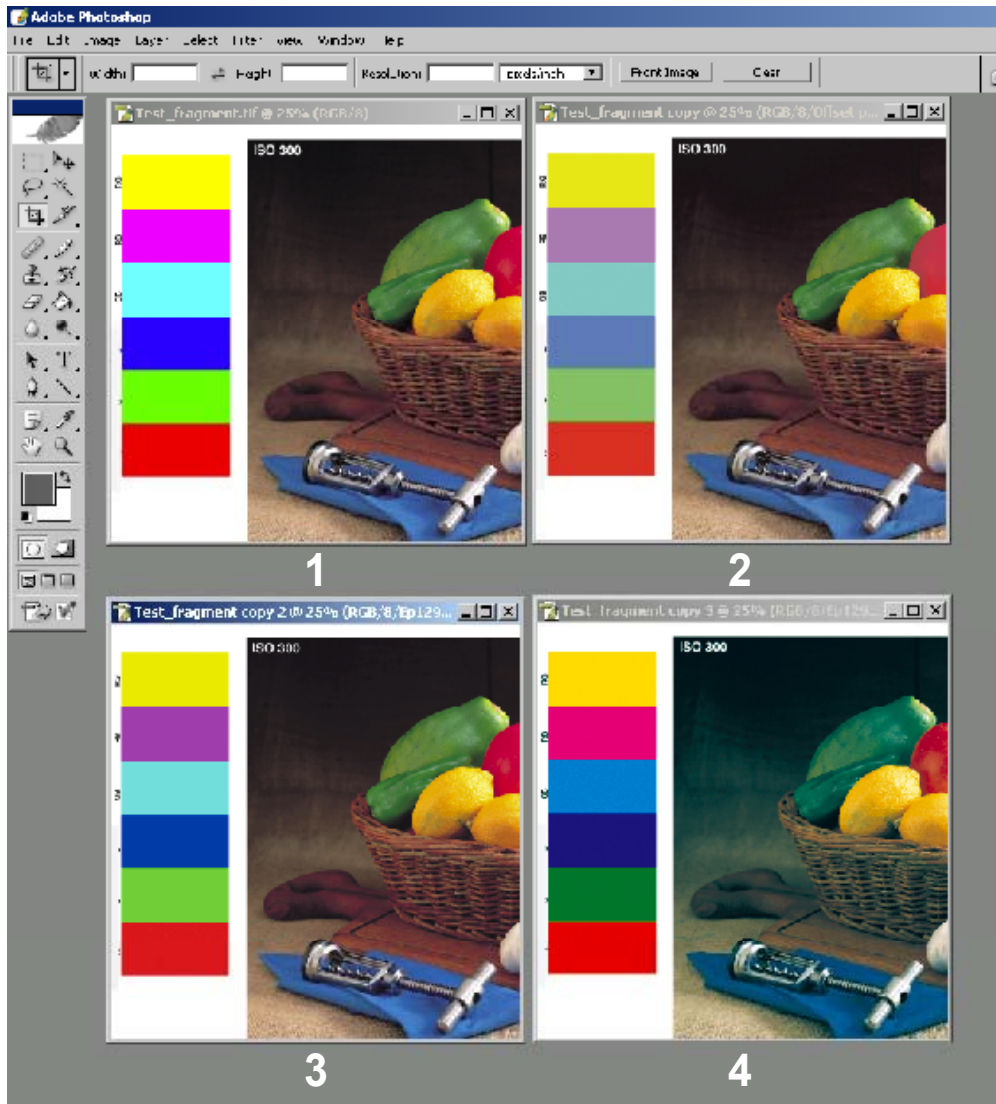
С другой стороны, можно, выбирая в данном списке разные варианты компрессии, проследить за тем, как будет меняться изображение при том или ином способе и выбрать наиболее подходящий для предстоящей конверсии изображения в аппаратные данные тиражного устройства («цветоделения»).

Включение/отключение флажка «Use black point compensation» демонстрирует результат его включения/отключения при реальном «цветоделении».

Флажок «Paper White» при включении воспроизводит на экране цвет поверхности, на которой будет производиться тиражирование, взяв цветовые координаты поверхности из профайла эмулируемого устройства (белая точка устройства). При этом происходит автоматическое включение флажка «Ink Black», демонстрирующего то, насколько снизится энергетический контраст отпечатанного изображения по сравнению с изображением в файле (за счет повышения светлоты черной точки изображения).

Самостоятельно флажок «Ink Black» демонстрирует лишь то, насколько снизится энергетический контраст изображения по сравнению с изображением в файле, но эмуляции цвета тиражной поверхности при этом не произойдет (поэтому для получения достоверной пробы белая точка монитора в этом случае должна быть уравнена с тиражной поверхностью на просмотрном месте)

Большим достоинством Photoshop является то, что экранный пруфинг разных печатных процессов может быть выполнен для разных файлов одновременно (Рис. )



1 — тестовый оригинал в аппаратных данных sRGB; 2 — экранный пруфинг, эмулирующий евроофсетную печать на немелованных бумагах; 3 — экранный пруфинг, эмулирующий печать принтера Epson 1290 на бумаге Epson S041328 по RGB-output профайлу (флажки «Ink Black» и «Paper White» не включены); 4 — то же, но с включенным флажком «Preserve Color Numbers»: печать с неизменными аппаратными данными в файле, то есть без конверсии по профайлу устройства.

В случаях 2 и 3 хорошо виден результат компрессии высоконасыщенных цветов оригинала (прямоугольные патчи). Цвета средней и малой насыщенности (фрагмент корзины с фруктами, штопор) практически не подвергся цветоискажениям.

Когда тип данных в файле совпадает с типом данных тиражного устройства (например, цветокоррекция в sRGB, а тиражное устройство использует RGB-output profile) становится активным еще один флажок опций экранной цветопробы: «Preserve Color Numbers». Его миссия в том, чтобы продемонстрировать пользователю результат печати *без конверсии по профайлу тиражного устройства*. То есть, Proof Setup в этом случае покажет то, что получится на печати, если аппаратные данные, в которых производилась цветокоррекция, неизменными отправить на печатающее устройство (Рис. ).



## Графический редактор Macromedia FreeHand

CMS Macromedia FreeHand всю историю существования программы практически не развивалась. Вплоть до версии 11.01 она оставалась на уровне середины 90-х годов, о чем, в частности, свидетельствуют даты файлов CMM (1996 год). CMS Macromedia FreeHand основана на работе CMM Kodak Digital Science (файлы: krcp32.dll, kpsys32.dll, sprof32.dll). Последнее обновление программы до версии 11.02 устанавливает CMM Kodak Digital Science версии 5.1.1.0 (файл kodacms.dll, 2003 г.).

Прежде чем производить настройку экранного пружинга версий до 11.01 включительно настоятельно рекомендуем скачать с [www.kodak.com](http://www.kodak.com) обновленный вариант указанных файлов и заменить ими те, что появятся в папке C:\Program Files\Macromedia\FreeHand после инсталляции программы. Попытки программистов подключить к FreeHand файлы CMM других производителей пока не увенчались успехом.

Программа FreeHand ориентирована на две категории работ: тиражирование изображений в полиграфии (СМΥК-профайлы устройств) и Web-дизайн. Поэтому корректная эмуляция печати, скажем на фотоминилабе (RGB-output профайлы) к сожалению, невозможна.

FreeHand организует экранный пружинг, «полагая», что все изображения в документе будут тиражироваться на одном и том же устройстве, поэтому возможности отдельного пружинга изображений у программы нет.

Настройка экранного пружинга для показа RGB-файлов, предназначенных для дальнейшего полиграфического тиражирования (СМΥК-устройства) производится следующим образом: в «Preferences», на закладке «Color», в секции «Color Management», в списке «Type» следует выбрать Kodak Digital Science.

Затем, следует выбрать кнопку «Setup» и в появившемся «Color Management Setup» произвести настройку.

В списке «Monitor» выбрать действующий профайл монитора, предварительно скопировав его в C:\Program Files\Macromedia\FreeHand\ICM.

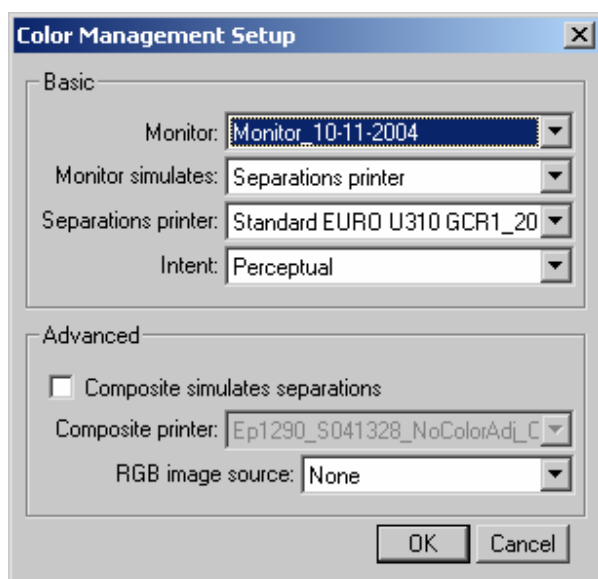
### **Примечание:**

FreeHand до версии 11.x.x. не распознает профайлов, имеющих расширение \*.icc. Поэтому после копирования следует изменить расширение файла в \*.icm.

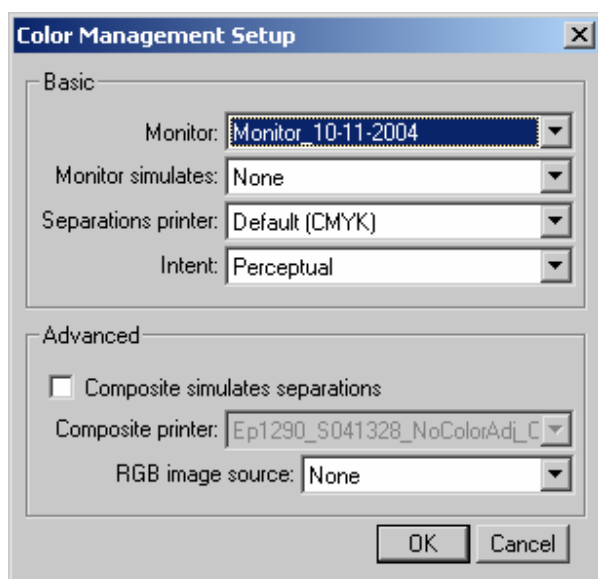
В списке «Monitor simulates» выбрать «Separations printer».

В списке «Separations printer» выбрать профайл эмулируемого устройства.

В списке «Intent» приходится всегда выбирать Perceptual, поскольку остальные варианты возможной компрессии работают плохо (рис. )



Настройка экранного отображения CMYK-файлов идентична тому, что сказано выше. Интерпретация CMYK-данных в L\*a\*b\* проходит по тому профайлу, что указан в «Separations printer». Выбирая в «Separations printer» тот или иной CMYK-профайл, мы на экране видим результат печати данного CMYK-файла на том или ином CMYK-устройстве. Настройка экранного отображения RGB-файлов, предназначенных для дальнейшего Web-тиражирования показана на рис.



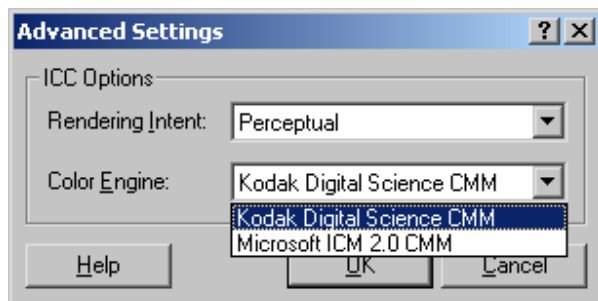
Профайл, установленный в «Separations printer», в данном случае не имеет никакого значения и не оказывает никакого влияния на экранный показ.

\* \* \*

Следует иметь в виду, что CMS FreeHand не умеет интерпретировать аппаратные данные в L\*a\*b\* по профайлу, прикрепленному к изображениям. Прикрепленный профайл остается незадействованным.

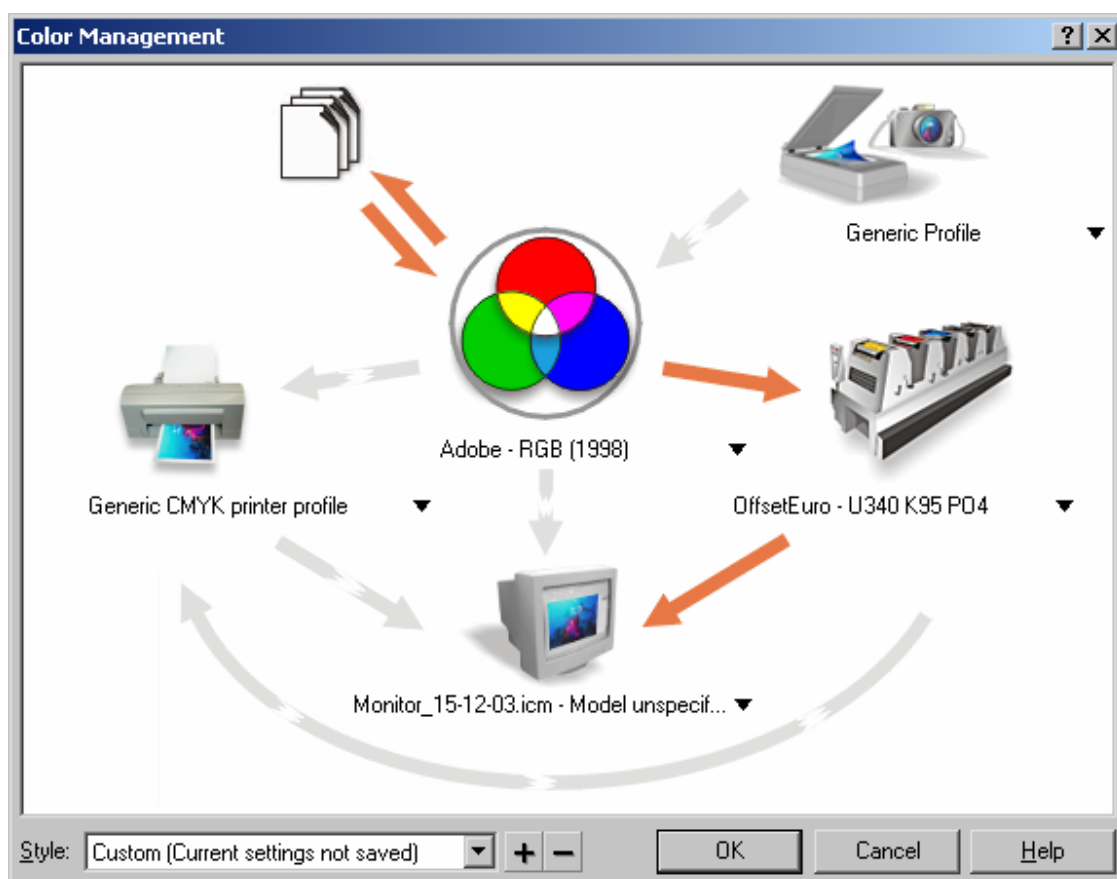
## Графические редакторы Corel

Базовый CMM графических редакторов Corel — это Kodak Digital Science. В этом можно убедиться, щелкнув на центральной иконке интерфейса CMS.



Как было сказано выше, интеграция Microsoft ICM 2.0 CMM программистами Corel проведена неудачно и экранная визуализация файлов с его использованием недостоверна.

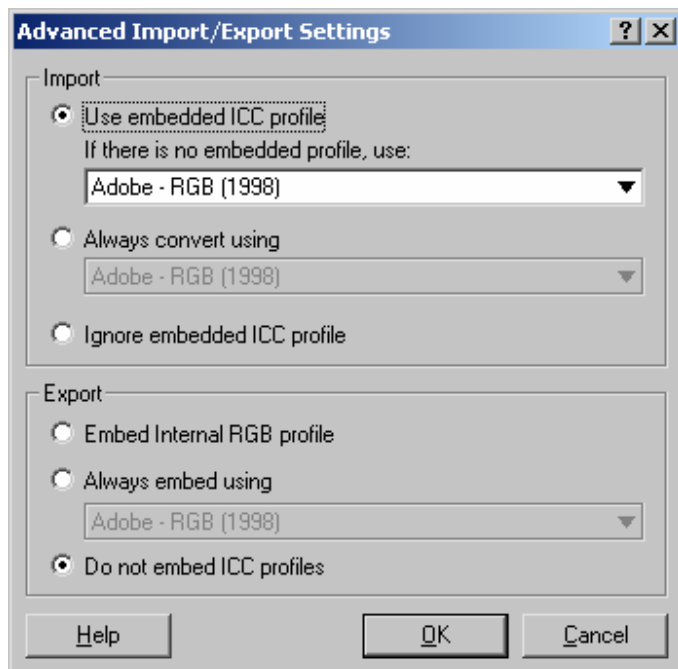
Интерфейс CMS последних версий Corel Draw, Corel Photopaint и Corel Ventura однотипен, интуитивен и не вызывает затруднений в настройке.



Стандартная настройка экранной цветопробы в графических программах Corel

Отметим только, что:

— CMS Corel способен распознавать и интерпретировать аппаратные данные файлов в цветные координаты по прикрепленным профайлам устройств. По умолчанию данная функция отключена. Чтобы запустить ее необходимо вызвать настройки, щелкнув на иконке «Import/Export» («Листы бумаги» в левом верхнем углу интерфейса);

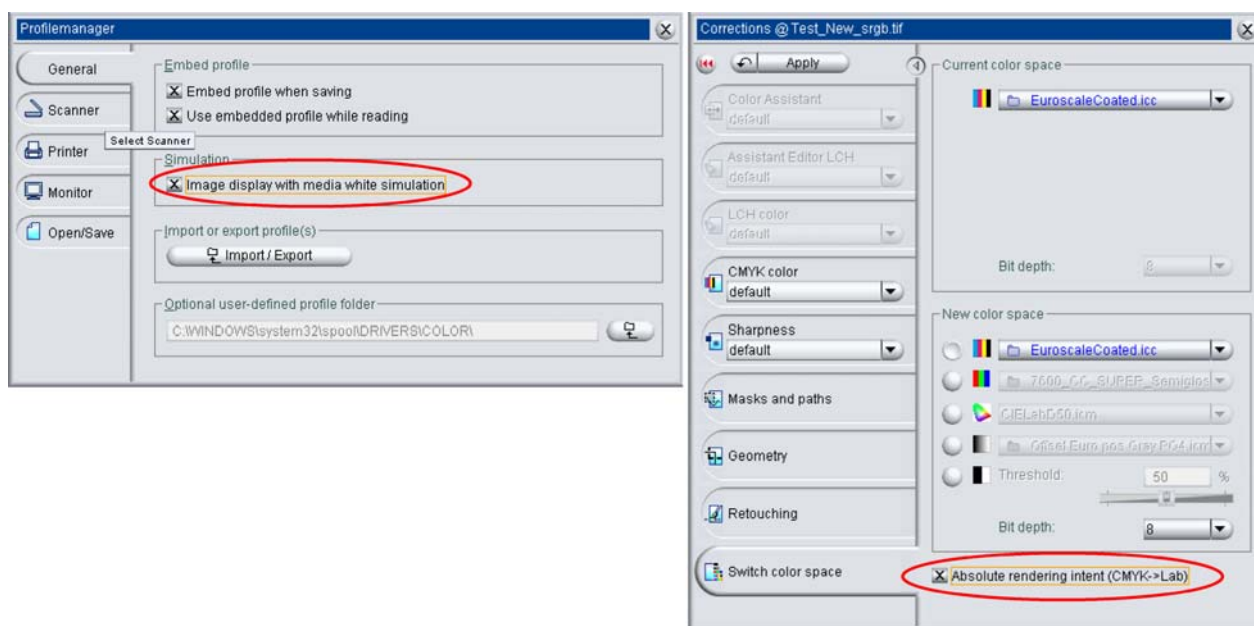


— CMS Corel распознает профайлы с расширением \*.icc;  
— возможности отдельного экранного пружинга файлов изображения в программах Corel, к сожалению, нет.

### Программа Heidelberg NewColor

Опций экранной цветопробы не имеет, но показ «цветоделенных» файлов может проходить в трех вариантах:

1. С экранной эмуляцией черной точки тиражного устройства: Corrections\Switch color space → флажок «Absolute rendering intent (CMYK→Lab)» активирован.
2. С экранной эмуляцией белой и черной точек тиражного устройства: к указанному флажку добавляется включение флажка «Image display with media white simulation», находящегося в Profile Manager\General.
3. Оба флажка отключены. Белая и черная точки тиражной поверхности не эмулируются.



## Настройка видеосистемы с помощью Adobe Gamma

Тем, кто не может воспользоваться измерительным оборудованием на помощь придет утилита Adobe Gamma, которая автоматически устанавливается вместе со всеми графическими пакетами Adobe. Для успешного использования утилиты настоятельно рекомендуем ознакомиться с теоретическим материалом данной статьи.

На наш взгляд утилита Adobe Gamma не самодостаточна и в работе еще потребуется Nokia Test.

Пошаговая схема настройки монитора такова.

1. Выполняют все предварительные мероприятия, описанные в главе ..., а также находят на сайте производителя данного дисплея (или на прилагаемом диске) стандартные усредненные профайлы данной модели. Профайлы в данном случае несут для нас информацию о цветовых координатах колорантов («Phosphors»).

Если данный монитор когда-то был отлажен с помощью спектрофотометра или колориметра, то старый профайл весьма пригодится — он несет гораздо более точную информацию о цветовых координатах кардинальных стимулов данного экземпляра, нежели усредненный профайл производителя.

2. На просмотрном месте располагают лист бумаги того сорта, на котором чаще всего выполняется тиражирование изображений.

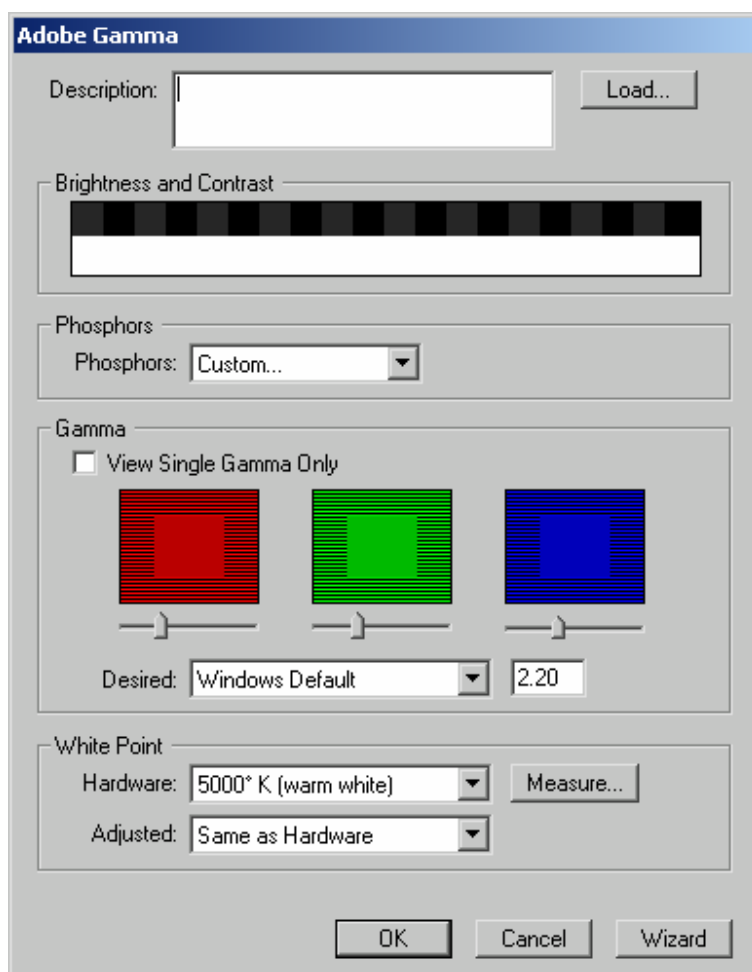
3. С помощью инструмента «Brightness&Contrast» Nokia Test добиваются четкой различимости 1%-го поля, для чего предварительно переводят настройку «Brightness» («Black Point Level») передней панели дисплея в минимальное значение, а затем плавно повышая его «ловят» границу устойчивой различимости.

4. С помощью настройки «Contrast» («White Point Level») передней панели дисплея приблизительно уравнивают светлоту белой точки монитора (удобно пользоваться сплошным белым полем инструмента «Colors» Nokia Test) со светлотой белой поверхности на просмотрном месте.

5. С помощью «RGB gain» передней панели дисплея уравнивают цветовой тон белой точки монитора с цветовым тоном белой поверхности на просмотрном месте. Светлота белой точки монитора при этой операции может несколько измениться.

6. Вновь с помощью «Contrast» («White Point Level») передней панели дисплея производят окончательное, точное уравнивание светлоты белой точки монитора со светлотой белой поверхности на просмотрном месте.

7. Вызывают Adobe Gamma (иконка находится в Control Panel операционной системы, а исполняемый файл «Adobe Gamma.cpl» в C:\Program Files\Common Files\Adobe\Calibration), предварительно удалив из StartUp (Автозагрузка) операционной системы все лишние загрузчики калибровки (если таковые есть), оставив только AdobeGammaLoader. Выбирают режим работы «Control Panel». На экране появится интерфейс, показанный на рис.



В поле «Description» вводят желаемое название будущего профайла монитора.

С помощью кнопки «Load» загружают стандартный усредненный профайл данной модели, взятый с сайта производителя или с диска, прилагаемого к дисплею.

Иногда производитель вместо профайла предлагает текстовую информацию о цветовых координатах свечения люминофоров своих кинескопов в системе  $xY$ . В этом случае значения вводят вручную в списке «Custom» секции «Phosphors». А если и этой информации нет, то в «Phosphors» остается только выбрать марку кинескопа данного дисплея.

Затем в секции «Gamma» в списке «Desired» устанавливают величину желаемой («Desired») гамма тонопередачи. Для мониторов компьютеров, работающих на PC-платформе, следует выбрать «Windows default» — 2.20

Следующий и очень ответственный этап — отдельное уравнивание светлоты калибровочных квадратов со светлотой их периферии с помощью ползунков. Движение ползунков вносит коррективы в LUT видеокарты, приводя монитор к желаемой гамма тонопередачи.

Эти изменения можно даже отслеживать с помощью «Calibration Tester» утилиты Color Lab 2.77, периодически нажимая кнопку «Refresh».

Перед началом процедуры уравнивания светлоты калибровочных квадратов и их периферии в списке «Adjusted» секции «White Point» нужно установить «Same as Hardware», так как настройка светлоты и цветового тона (цветовой температуры) белой точки была произведена с помощью «RGB gain». После чего оператор смотрит на экран с расстояния 40-60 см и осторожно двигает ползунки под каждым из квадратов, добиваясь уравнивания.

Когда уравнивание будет достигнуто, в списке «Hardware» секции «White Point» нужно выставить цветовую температуру опорного белого света, то есть цветовую температуру просмотрочного места и белой точки монитора (которые, напомним, были уравнены «на глаз» с помощью «RGB gain»). Чаще всего это будет 5000K. Реже встречаются просмотрочные устройства с номинальной цветовой температурой 6500K. Так или иначе, но не имея измерительного прибора настройщик вынужден доверять цифрам цветовой температуры, взятым с корпуса просмотрочного устройства или из его описания.

Температура белой точки, указанная в «Hardware», не влияет на LUT, но данные из этого списка будут внесены в профайл монитора, как данные о белой точке устройства.

Затем нужно еще раз убедиться в том, что в списке «Adjusted» секции «White Point» установлено «Same as Hardware».

Кнопку «Measure» секции «White Point» мы игнорируем, так как, опять же, установка точки белого была произведена на глаз с помощью «RGB gain».

Нажатие «OK» приведет к тому, что в LUT видеокарты будут внесены необходимые изменения, приводящие монитор к желаемой гамма, а в системной папке будет сохранен профайл монитора и активизирован как «default».

8. Визуальная проверка точности настройки, выполненной с помощью Adobe Gamma состоит из двух этапов.

Первый этап. Нужно вызвать инструмент «Brightness&Contrast» утилиты Nokia Test и убедиться в том, что:

— поле 1% по-прежнему четко различимо;

— вся градационная шкала выглядит нейтрально-серой и не имеет хроматического сдвига.

Второй этап. Создать в Photoshop горизонтально вытянутый Lab-холст и залить его горизонтальным нейтральным градиентом L0 a0 b0 → L100 a0 b0. Полученный градиент на всем протяжении должен быть нейтрально-серым и не иметь хроматического сдвига.

Памятное тестовое изображение, открытое в Photoshop, должно выглядеть привычно и не вызывать психологического дискомфорта.

Последний критерий весьма расплывчатый и, разумеется, о точном контроле при отсутствии измерительного прибора говорить не приходится. Но как только в распоряжении цветокорректора появится измерительный прибор, так и необходимость в использовании Adobe Gamma отпадет.

9. Если в результате проверки выясняется, что градационная шкала «Brightness&Contrast» утилиты Nokia Test имеет тот или иной хроматический сдвиг, то поступают так: вызывают Adobe Gamma поверх «Brightness&Contrast», и, манипулируя

ползунками калибровочных квадратов, устраняют хроматический сдвиг, приводя изображение к нейтрально-серому. После чего пересохраняют профайл монитора.

Если же в результате проверки выясняется, что градационная шкала «Brightness&Contrast» утилиты Nokia Test не имеет выраженного хроматического сдвига, но его имеет нейтральный Lab-градиент в Photoshop, то это означает, что цветовые координаты колорантов, внесенные в профайл, оказались совсем далекими от реальности. Такая ситуация, в целом, редка и, как правило, ровный нейтральный градиент градационной шкалы Nokia Test является свидетельством того, что настройка прошла успешно.

Если вышеперечисленные параметры свидетельствуют об успешной настройке монитора, но экранный пруфинг печатного процесса далек от реальности — причину нужно искать либо в неправильной настройке CMS графического редактора, опциях цветопробы или профайлах эмулируемых цветопробой устройств. Но вмешиваться в настройку монитора и пытаться подгонять его работу «под оттиск» нельзя ни в коем случае.

10. После того, как настройка успешно завершена необходимо убедиться в том, что загрузчик изменений в LUT (Adobe Gamma Loader.exe, который находится в C:\Program Files\Common Files\Adobe\Calibration) прописан в StartUp операционной системы, что иных загрузчиков нет (с ними может быть программный конфликт), а в Display Properties построенный профайл установлен, как «Default».

Настройка монитора с помощью Adobe Gamma, конечно, уступает по качеству инструментальной настройке, но при хорошем навыке оператора может обеспечить точность цветовоспроизведения до 2-3 dE по нейтральным тонам (в удачных случаях и до dE=1,5) и будет выручать предприятие на первых порах, то есть до тех пор, пока не будет приобретено необходимое измерительное оборудование.