EBU

OPERATING EUROVISION AND EURORADIO

TECH 3353

DEVELOPMENT OF A “STANDARD” TELEVISION CAMERA MODEL IMPLEMENTED IN THE TLCI-2012

Внимание!

- Данный перевод **НЕ** претендует на аутентичность и может содержать отдельные неточности.
- Оригинал этого документа находится по адресу: http://www.ebu.ch

РАЗРАБОТКА «СТАНДАРТНОЙ» МОДЕЛИ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ КАМЕРЫ, РЕАЛИЗОВАННОЙ В TLCI-2012

Источник: FTV-LED

Женева
Ноябрь 2012

Содержание

1. Введение 3
2. «Фундаментальный» измерительный прибор 3
3. Общие спектрофотометрические характеристики в ТВ камерах 5
4. Оптические системы в современных камерах 6
5. Измерения и расчёты 7
6. На пути к стандартной цветовой модели телевизионной камеры..... 8
7. Заключение 12
8. Ссылки..... 13
Приложение 1: Глоссарий 14

Разработка «стандартной» цветовой модели телевизионной камеры, реализованной в TLCI-2012

Комитет EBU	*Первый выпуск*	*Переработка*	*Переиздание*
TC	2012		

Ключевые слова: TLCI-2012, Цветовая модель ТВ камеры.

1. Введение

Внедрение высокоэффективных источников света типа LED в студии теле- и кинопроизводства восстановило предыдущую работу, проведенную в 1970-х гг. W.N. Sproson и E.W. Taylor (BBC) по эффектам освещения в телевидении.

Некритичное внедрение студийного освещения на базе LED (или других высокоэффективных источников света без накаливания) в производство программ может вызвать колориметрические проблемы, требующие цветокорреции в постпроизводстве. Отчеты о текущей работе на IBC 2011 [1] и обновленной работе на IBC 2012 [2] содержат информацию о возможных последствиях использования проблемных осветительных приборов в производстве программ.

Для полного понимания предлагаемого индекса совместимости телевизионного освещения, 2012 (TLCI-2012) [3] необходимо иметь информацию о спектральной чувствительности современных телекамер на базе CCD или CMOS. Была проведена работа по измерению параметров спектральной чувствительности современных камер HDTV. Результаты позволили разработать предложение стандартной цветовой модели телевизионных камер, представленное в данном документе.

Кроме прямого запроса данных у производителей камер, единственной надежной альтернативой получения информации о спектральной чувствительности современных камер HDTV на базе CCD/CMOS является измерение характеристики трех (RGB) каналов камеры. В настоящем документе вкратце объяснены принципы и некоторые детали этих измерений и затем показано, как используются результаты для развития предлагаемой «стандартной» цветовой модели камер.

2. «Фундаментальный» измерительный прибор

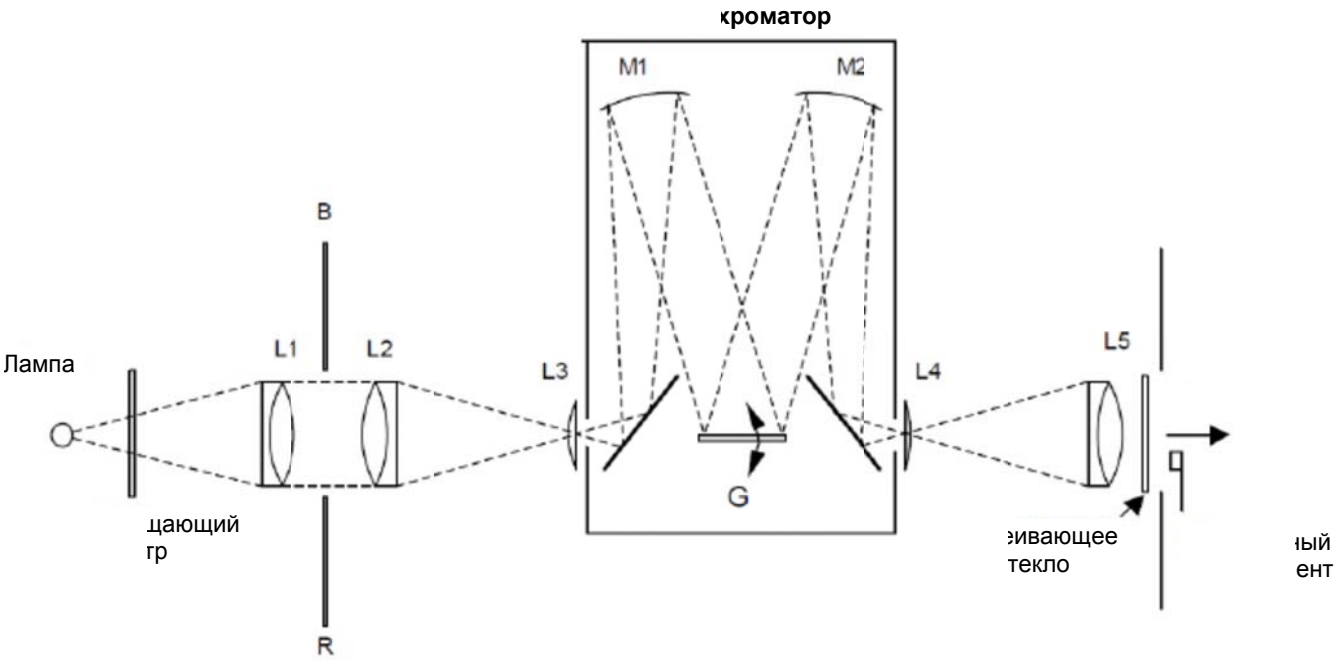

Рис. 1: Аппарат для спектрофотометрических измерений

Рис. 1 иллюстрирует оптическую установку, необходимую для спектрофотометра, которая может состоять из стандартных оптических компонентов. Обычная вольфрамовая галогенная лампа и дифракционный монохроматор составляют настраиваемый источник света, производящий узкополосный луч света (почти чистого спектрального цвета) из выходной щели. Этот луч освещает кусочек матового стекла, чтобы камера «видела». Фотоэлемент, прикрепленный к рассеивающему стеклу, измеряет (относительную) интенсивность освещенного пятна. Эта информация необходима для последу-

ющих расчётов. Чувствительность этого контрольного фотоэлемента установлена путем сравнения ее выхода с выходом калиброванного кремниевого фотодиода, изображенного на Рис. 2.

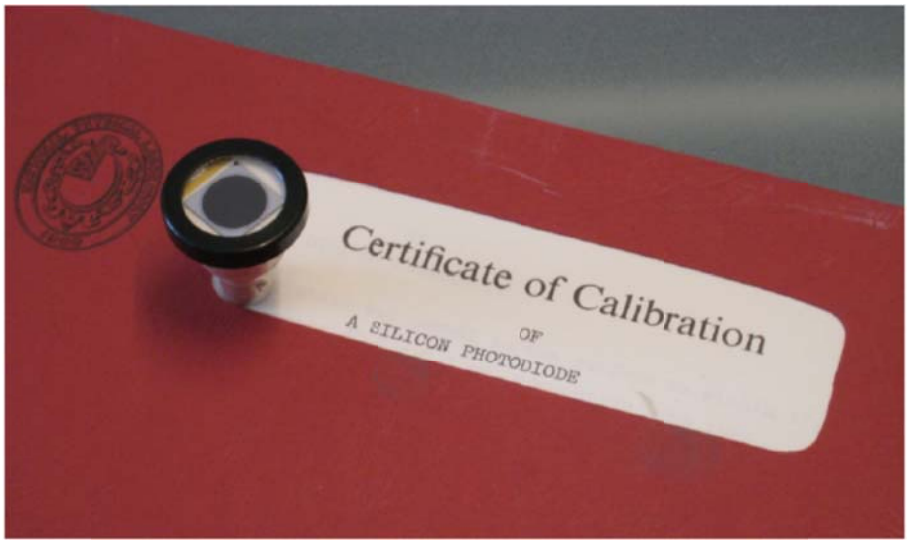

Рис. 2: Эталонный фотодиод и калибровочные данные

По счастливой случайности, такой инструмент был создан много лет назад (в конце 1970-х) в NRK в связи с работой EBU по характеристике параметров цветопередачи телекамер [4]. Из опыта данной работы было известно, что такая установка давала нужную информацию о спектральной чувствительности камер с требуемой точностью. Кроме того, следует упомянуть, что этот аппарат не был утилизирован в течение десятилетий после завершения работы по колориметрии камер.

Однако во время внедрения этого инструмента не было ни компьютеров или каких-либо средств автоматизации для облегчения процесса измерения. И с воскрешением прибора в 2011 г. не стоило тратить время, деньги и усилия на перепроектирование его в автоматический инструмент. На Рис. 3 и 4 показан вид установки.

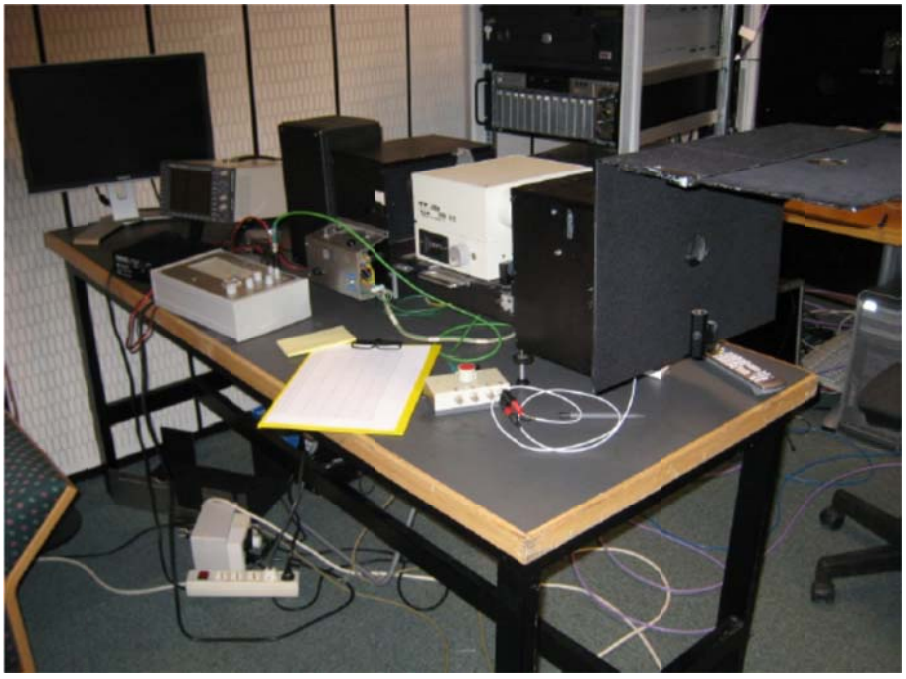

Рис. 3: «Стенд» измерения камер

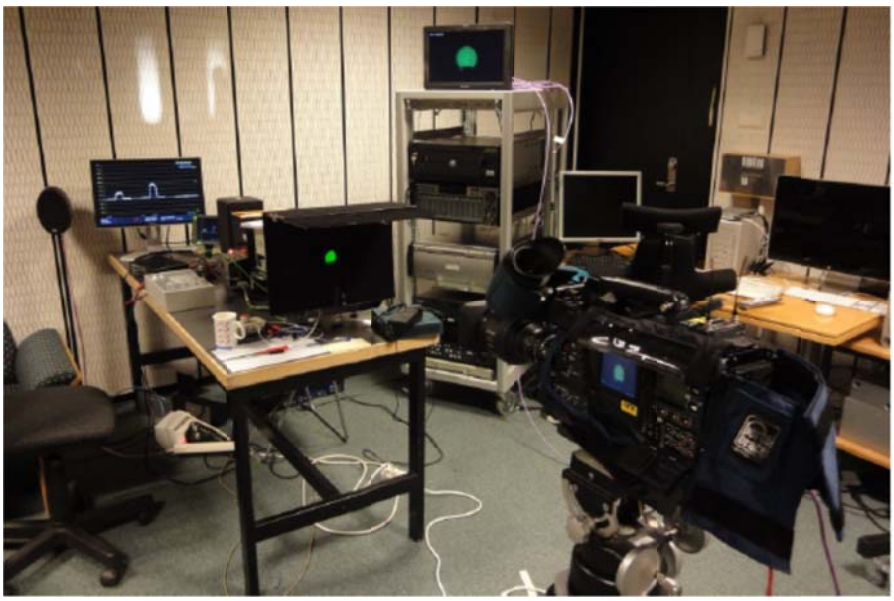

Рис. 4: Камера измеряется

3. Общие спектрофотометрические характеристики в ТВ камерах

Согласно документам, представленным на IBC 2011 A. Roberts [1] и на IBC 2012 P. Böhler [2], повторение блок-схемы TLCI на Рис. 5 будет полезно для дальнейших описаний.

В 2011 г. единственно доступными кривыми камер были данные по камерам с плюмбиконом и CCD 1980-х гг. Следует заметить, что идеальные кривые спектральной чувствительности камер определяются основными цветами дисплея, но таких кривых нелегко достичь на практике. В целях согласованных характеристик цветовоспроизведения в цветных ТВ основные цвета дисплея были стандартизированы на ранней стадии развития цветного телевидения. Большая часть работы, ведущей к стандартизации европейского цветного ТВ, была сделана в BBC в 1970-е и 1980-е гг. [5], [6] и [7]. Ссылка [5] показывает набор идеальных кривых для спектрального анализа камеры.

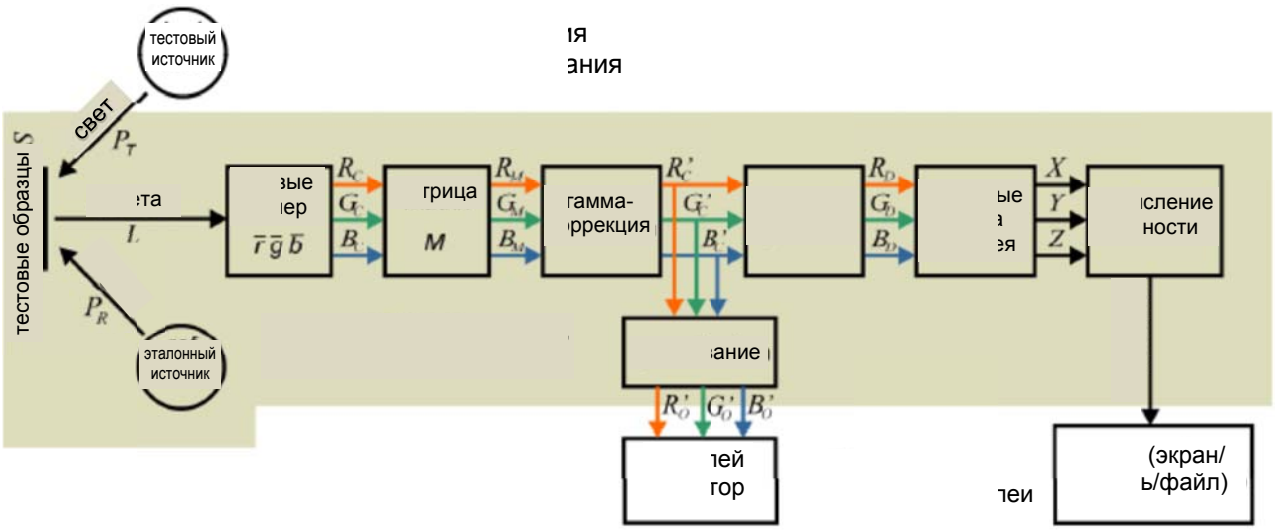

Рис. 5: Блок-схема “TLCI”

В результате архивы ТВ программ во всем мире содержат материал, снятый такими камерами. По этой причине важно, чтобы современные камеры имели такие же параметры цветовоспроизведения. Сегодня, однако, используемые в ТВ камерах датчики основаны на кремнии с технологией CCD или CMOS.

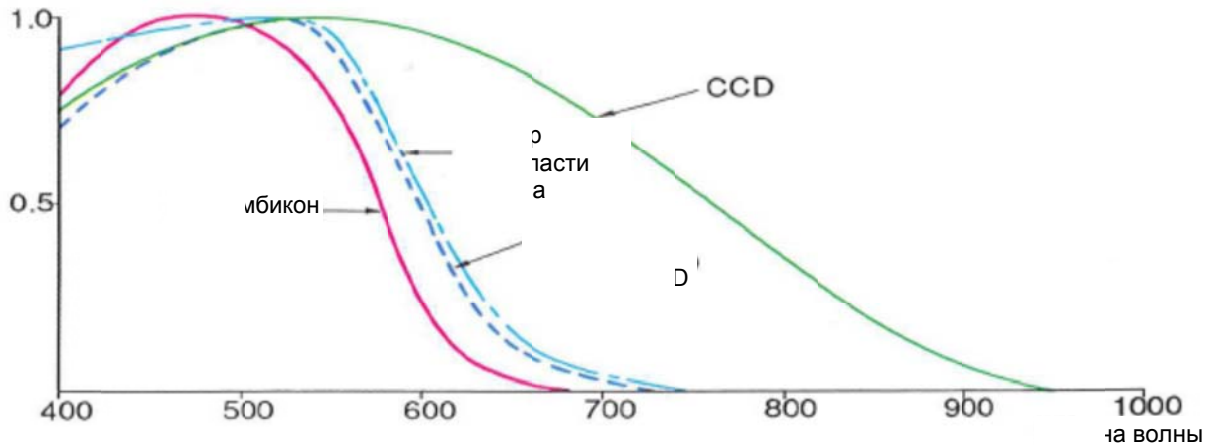

Рис. 6: Спектральная чувствительность камерных трубок vs. датчиков CCD

Как видно на Рис., между плюмбиконами и трубками и современными датчиками существует большая разница в спектральной чувствительности. Следовательно, система разделения цветов (цветовая фильтрация) в современных телекамерах должна сильно отличаться от старой технологии для приближения к идеальным характеристикам нашей ТВ системы. Для максимального приближения к практическому миру в нашем предложении TLCI [2] потребовалось изучение современных камер HDTV и измерение их спектральной чувствительности. В частности, датчики CCD/CMOS высокочувствительны к почти инфракрасной части спектра, поэтому критически важно тщательно контролировать эту часть спектра в любой высококачественной камере для контролируемого цветовоспроизведения и во избежание «ложных цветов».

4. Оптические системы в современных камерах

На Рис. 7 более подробно проиллюстрирован оптический дизайн и элементы, влияющие на конечную спектральную характеристику в каждом канале сигналов RGB. Главные элементы, формирующие кривые чувствительности в каждом канале – это дихроичные светофильтры для синего и красного в сочетании с корректирующими светофильтрами перед каждым датчиком. Кроме того, фильтр инфракрасной области спектра формирует характеристику красного на длинноволновом конце спектра по вышеуказанной причине. Подробное описание см. в [8].

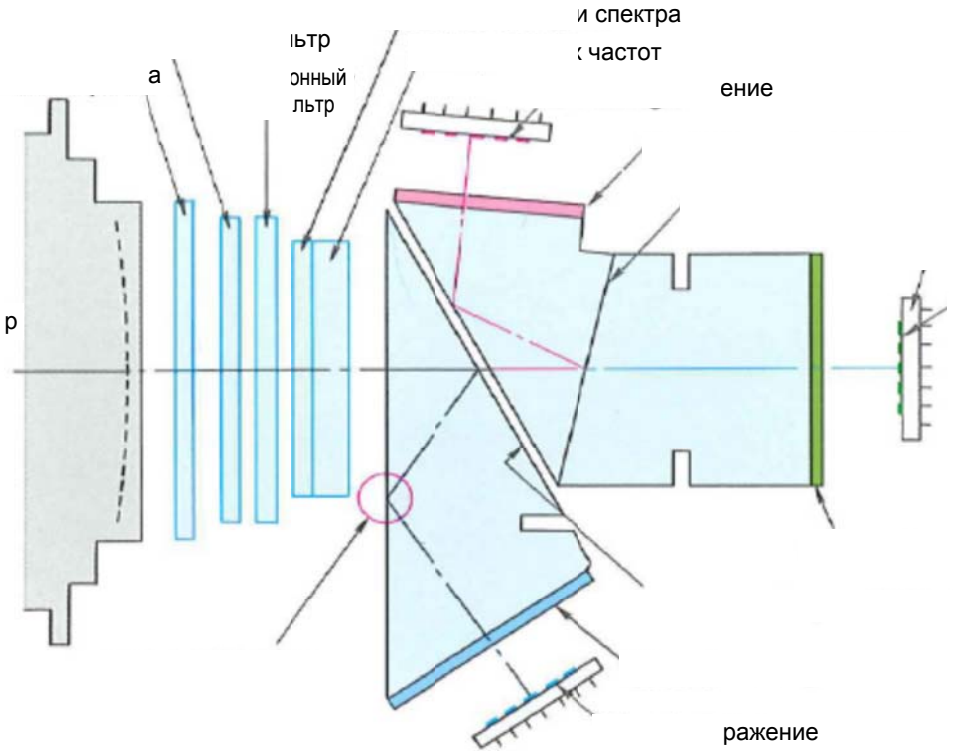

Рис. 7: Оптические элементы в современной ТВ камере

5. Измерения и расчёты

Вследствие «остроконечного» характера спектров LED все измерения проводятся с интервалами в 5 нм. Кроме выходных видеосигналов RGB, измеряется выход спектральной мощности из монохроматора на рассеивающем стекле (со «стороны камеры»). Калибровочные значения для этого контрольного фотоэлемента связаны с чувствительностью другого фотодиода, откалиброванного NPL (Teddington, Великобритания), и можно выработать «поправочный коэффициент мощности» ($P_{cf(\lambda)}$) для контрольного фотоэлемента [1; Дополнение 1].

В процессе установки $P_{cf(\lambda)}$ откалиброванный фотоэлемент помещается на рассеивающее стекло, и показания снимаются с обоих фотоэлементов одновременно.

$$P_{cf(\lambda)} = Cal_{(\lambda)} * M_{cal(\lambda)} / Ref_{c(\lambda)}$$

Где $Cal_{(\lambda)}$, $M_{cal(\lambda)}$ и $Ref_{c(\lambda)}$ – соответственно относительные значения калибровки, выходы контрольных фотоэлементов и выходы опорных фотодиодов.

Измеренные сигналы с камеры $R_{m(\lambda)}$, $G_{m(\lambda)}$, $B_{m(\lambda)}$ для монохромных излучений корректируются для условий нулевой подъемной силы (уровня черного).

$$R_{l(\lambda)} = R_{m(\lambda)} – R_{(b)} , G_{l(\lambda)} = G_{m(\lambda)} – G_{(b)} , B_{l(\lambda)} = B_{m(\lambda)} – B_{(b)}$$

Где $R_{(b)}$, $G_{(b)}$, $B_{(b)}$ – измеренные значения уровня черного. Эти корректированные значения затем корректируются по колебанию уровня мощности с длиной волны на выходе монохроматора ($R_{corr(\lambda)}$, $G_{corr(\lambda)}$, $B_{corr(\lambda)}$), и расчетный выход с каждого канала камеры для равного спектра энергии становится таким:

$$R_{corr(\lambda)} = R * P_{cf(\lambda)} / M_{c(\lambda)}$$

$$G_{corr(\lambda)} = G_{l(\lambda)} * P_{cf(\lambda)} / M_{c(\lambda)}$$

$$B_{corr(\lambda)} = B_{l(\lambda)} * P_{cf(\lambda)} / M_{c(\lambda)}$$

Где $M_{c(\lambda)}$ – мощность выхода монохроматора во время измерений камеры с учетом колебаний излучаемой мощности с лампы вследствие ее износа и различий между разными лампами.

Нормализованные значения выходов R_n, G_n и B_n соответственно:

$$Rn(\lambda) = \frac{Rcorr(\lambda)}{\sum_{\lambda=380nm}^{770nm} Rcorr(\lambda)}$$

$$Gn(\lambda) = \frac{Gcorr(\lambda)}{\sum_{\lambda=380nm}^{770nm} Gcorr(\lambda)}$$

$$Bn(\lambda) = \frac{Bcorr(\lambda)}{\sum_{\lambda=380nm}^{770nm} Bcorr(\lambda)}$$

На Рис. 8 показаны результаты после описанного процесса для типичной камеры HDTV, применяемой сегодня в вещании и телепроизводстве во всем мире.

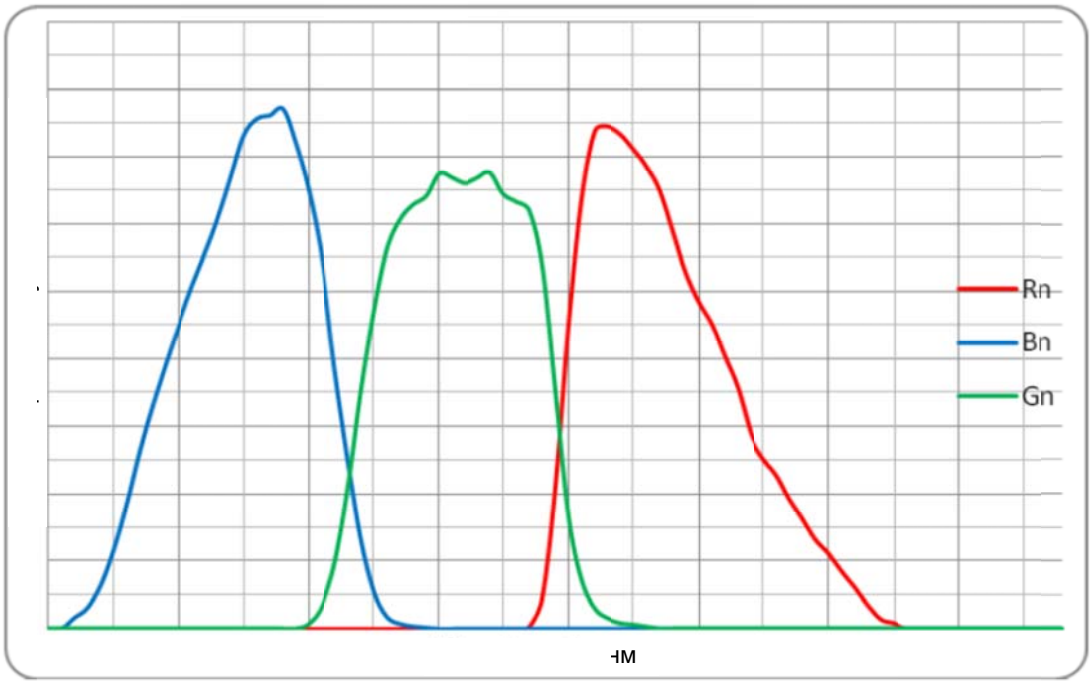

Рис. 8: Типичная нормализованная спектральная характеристика в современной камере HDTV

6. На пути к стандартной цветовой модели телевизионных камер

В настоящее время измерены девять моделей камер. Все это профессиональные вещательные камеры HDTV с 3 датчиками CCD от нескольких производителей. По возможности несколько разных камер каждой модели измерены более одного раза с целью обнаружения ошибок измерения, а также получения средних чисел для более «ровных» рядов значений. По понятным причинам камеры не будут здесь названы по типу или производителю, см. Рис. 9.

По имеющимся на сегодня данным становится ясно, что разница между типами и производителями относительно мала. Во многих отношениях это утешительно в том смысле, что предлагаемая «модель камеры» имеет почти ничтожные отличия от реальных камер у вещателей. Действительно, вычисления и субъективные тесты с большинством подходящих метрик цветоразности CIE (Commission international d`éclairage/International commission on illumination) (CIEDE2000) это подтверждают.

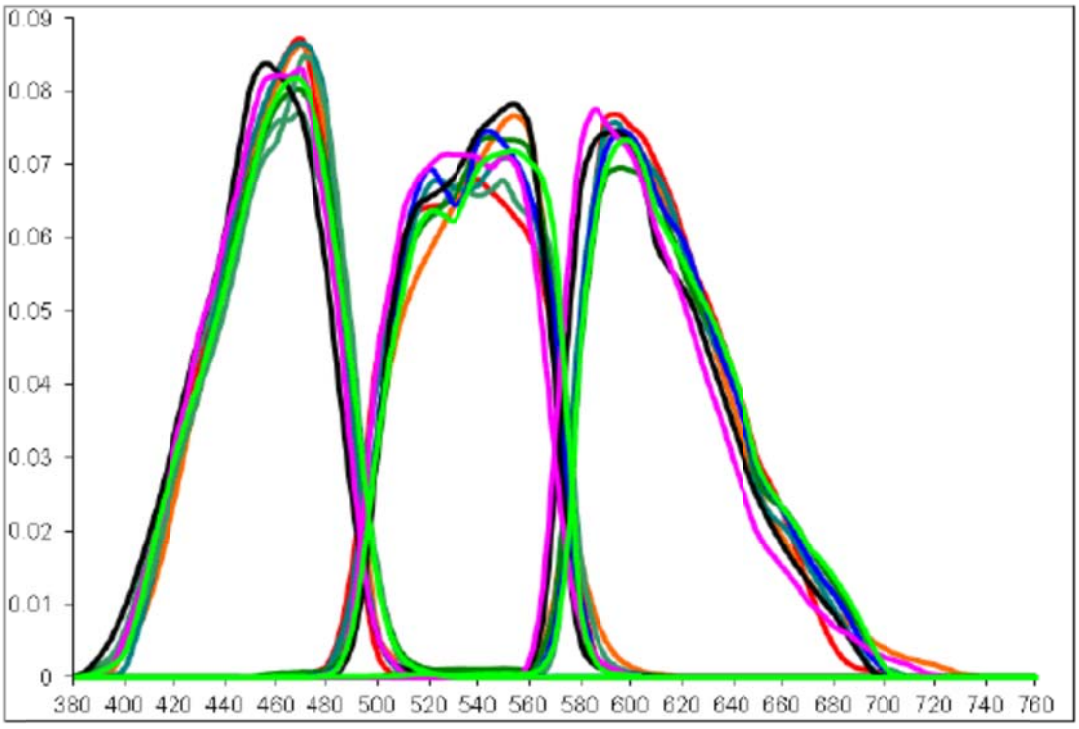

Рис. 9: Спектральная чувствительность девяти разных камер от трех производителей

Из работы, описанной в [5] и [7], критическими параметрами для кривых спектральной чувствительности камеры являются длины волн для точек пересечения чувствительности синего/зеленого и зеленого/красного и длина волны для максимальной чувствительности в каналах RGB. Переходная длина волны для синего-зеленого – 492 ± 2 нм и 570 ± 2 нм для зеленого-красного. Пики должны быть на 604 ± 5 нм, 535 ± 5 нм и 452 ± 5 нм для RGB соответственно. Все протестированные камеры находятся в этих диапазонах или почти в них. Отклонения, если и бывают, не создают значительных проблем. Дальнейшие вычисления с характеристиками отдельных камер подтвердили это предположение. На этой основе и на основании расчетных цветовых ошибок может быть представлена стандартная модель камеры путем «сглаженного» среднего значения всех измеренных камер, включая данные однокристальных камер CMOS, как показано на Рис. 10.

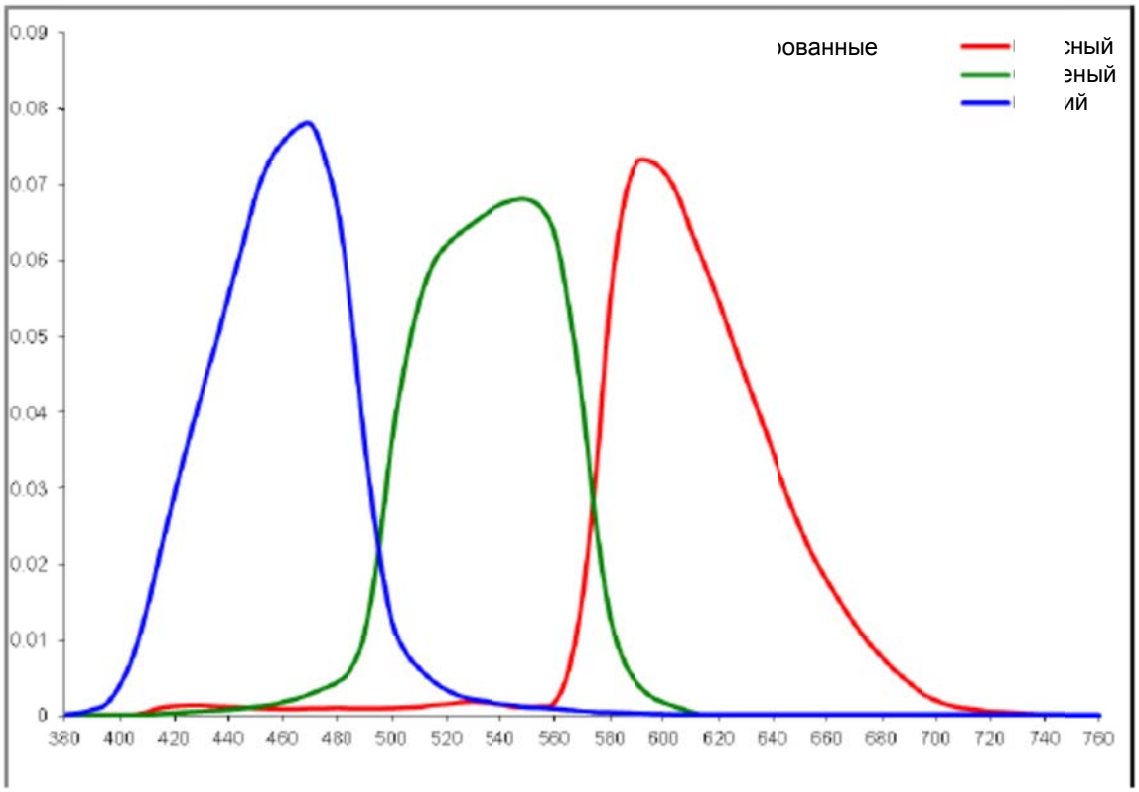

Рис. 10: Предлагаемая «стандартная» цветовая модель телевизионных камер

Изображенные кривые включают эффект линзы и представляют спектральную чувствительность (без цветового матрицирования), сбалансированную путем вычислений для равного спектра энергии. Эффект линзы (любой современной) ничтожен, т.к. современные многослойные антиотражающие покрытия для всех практических целей дают ровную кривую спектральной передачи в видимой части спектра [8].

Обычно камерам требуется линейная матрица цветокоррекции для улучшения цветопередачи. На Рис. 11 показана спектральная чувствительность после применения линейной матрицы к «стандартной» камере. На Рис. 12 показана результирующая схема цветности для тестовой таблицы ColorChecker®, для предположительно линейной камеры и дисплея.

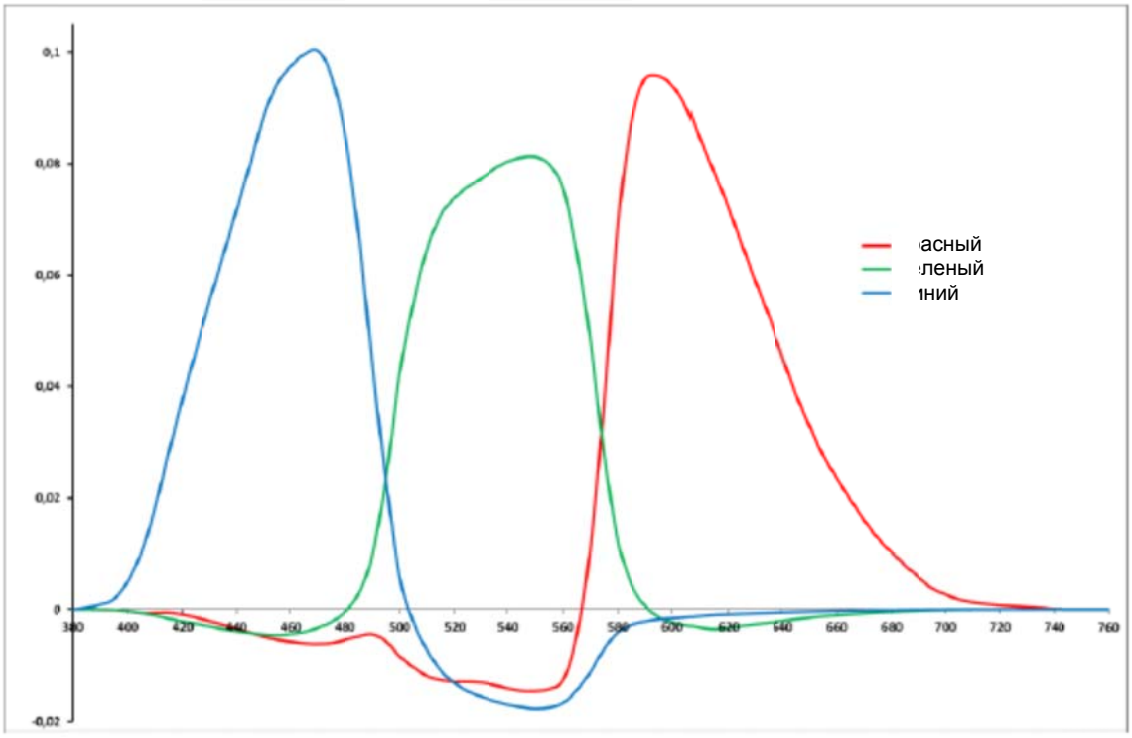

Рис. 11: Камера TLCI-2012 с линейной матрицей

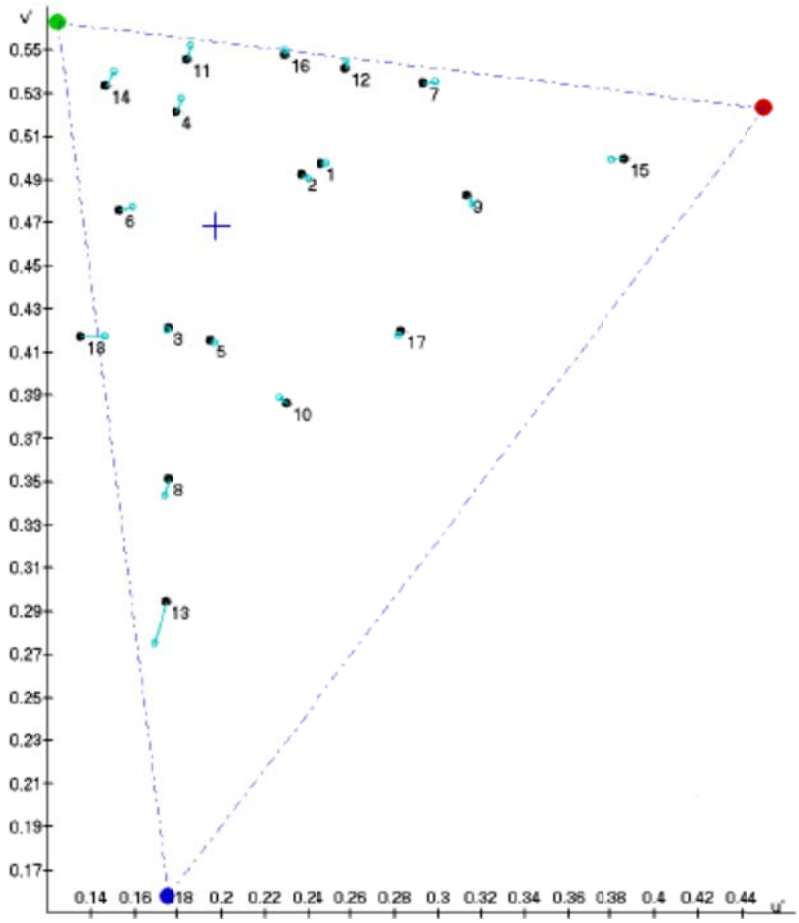

Рис. 12: Цветопередача с линейной матрицей

Однако в установке камер для производства программ гамма-коррекция вводится после линейной матрицы. Кроме того, дисплей имеет нелинейную функцию электрооптической передачи. Эти факты вызывают изменения в параметрах цветовоспроизведения; насыщенность большинства цветов существенно повышается и вводятся ошибки оттенков. Это проиллюстрировано на Рис. 13.

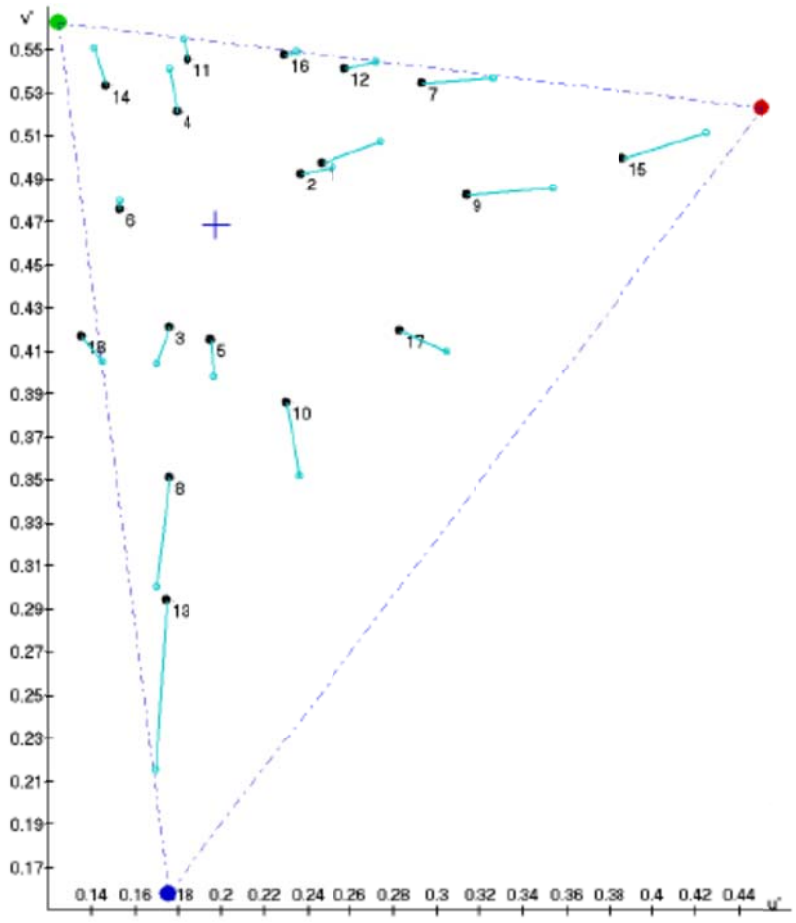

Рис. 13: Цветопередача с линейной матрицей и гаммой

Эти эффекты можно исправить путем настройки матрицы так, чтобы снизить перенасыщенность до допустимого уровня.

На Рис. 14 показана результирующая характеристика камеры после гамма-коррекции и с отрегулированной матрицей. На Рис. 15 представлена результирующая схема цветности.

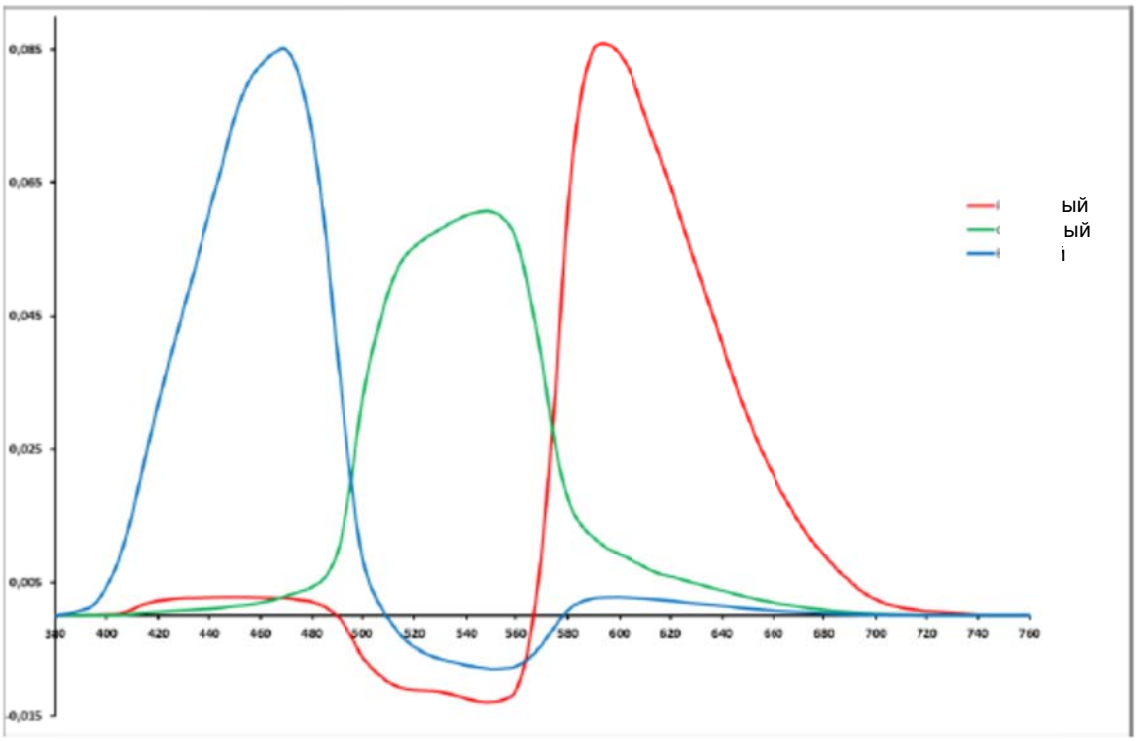

Рис. 14: Камера TLCI-2012 с отрегулированной матрицей

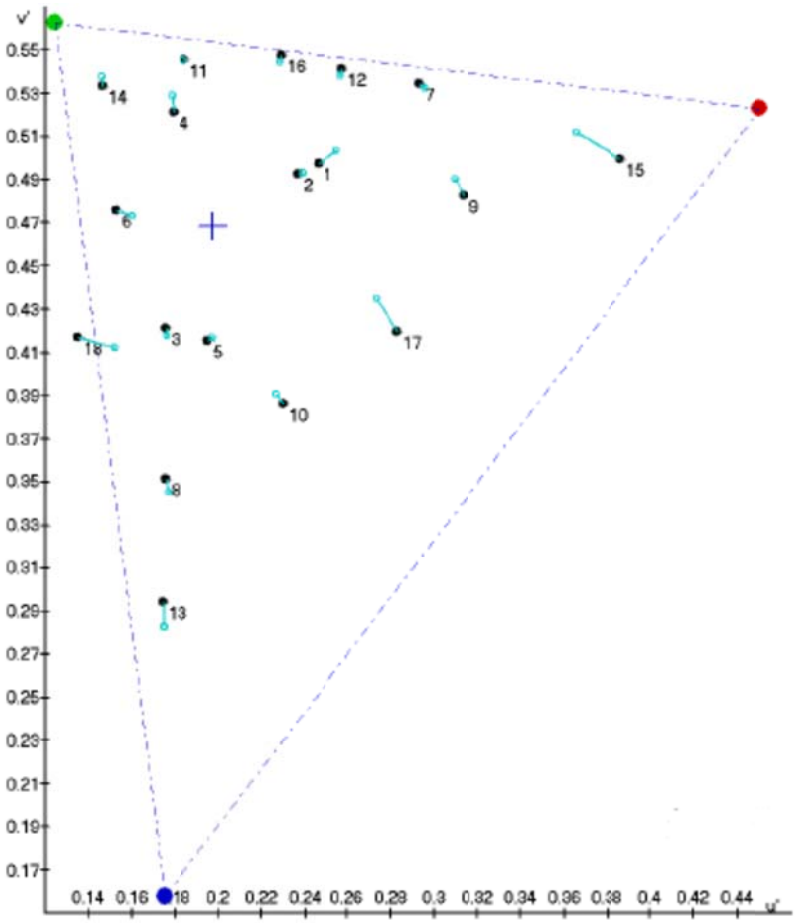

Рис. 15: Результирующая цветопередача с отрегулированной матрицей

Настройки матрицы специально вычисляются во избежание перенасыщенности, давая таким образом место для блуждающего освещения для перенасыщенности без срезания (как показано на Рис.15). Обычно не рекомендуется использовать такую матрицу для вещания, т.к. «картинка», которую она дает, больше похожа на кино, чем на видео. Матрица была оптимизирована для сохранения точности телесных тонов, но оставляя место вокруг самых насыщенных цветов. Это объясняет, почему людям «нравятся» чуть ненасыщенные желтые и оранжевые тона

7. Заключение.

В 1927 г. CIE создал модель человеческого зрения с помощью всего 17 участников, и эта модель до сих пор используется в чуть измененной форме.

Из вышеописанной работы видно, что аналогичная модель возможна и для камер, и в свете технологической конвергенции фото, телевизионных и кинокамер такая модель может иметь продолжительное воздействие на индустрию.

Применение такой модели окажет помощь не только в конструкции камер, т.к. условия освещения, в которых работают камеры, оказываются более требовательными, чем для модели человеческого зрения. Большинство отличий не связано с человеческим фактором при балансе белого, т.к. это действие закрепляет ошибки в данных изображения. Однако также наблюдались серьезные ошибки, связанные просто с плохой внеполосной фильтрацией датчика, особенно в инфракрасной зоне спектра.

В этом нет ничего нового, т.к. цветная фотография многие десятилетия была измучена ошибками из-за того, что базовый галогенид серебра более чувствителен к ультрафиолету, чем человеческий глаз. Сегодня в новом универсальном мире изображений на базе кремния акцент сместился к проблемам в зоне между волнами длиной 750 и 1100 нм. Эта зона используется в бытовых камерах и увеличивает видимую чувствительность в условиях слабого освещения. К сожалению, это вредит колориметрии, т.к. источники света с похожей спектральной характеристикой глаз могут иметь совершенно разное инфракрасное содержание. В частности, нынешний стандарт телестудий с галогеновыми лампами 3200K (градусов Кельвина) по сравнению с визуальными LED эквивалентами.

8. Ссылки

[1] Alan Roberts: A Television Lighting Consistency Index. IBC 2011

[2] Per Böhler: Towards A 'Standard' Television Camera Colour Model. IBC 2012

[3] EBU Tech 3355: Method for the Assessment of the colorimetric properties of luminaires, the Television Lighting Consistency Index (TLCI-2012), октябрь 2012

[4] EBU Tech 3237: Methods of the Measurement of the Colorimetric Fidelity of Television Cameras, май 1983 (включая EBU Tech 3237 Supplement 1, ноябрь 1989)

[5] Wood C.B.B. and Sproson W.N. (1971), The Choice of Primary Colours for Television: Part II. BBC Engineering No.85 (январь 1971).

[6] EBU Tech 3212: EBU Standard for Chromaticity Tolerances for Studio Monitors, август 1975

[7] BBC Engineering, 1984. Colour television cameras. BBC Specification TV2248, сентябрь 1984

[8] TV OPTICS II/III; The CANON Guide Book of Optics for Television System. Canon Inc, июнь 1992/ 2007.

Приложение 1: Глоссарий

TLCI	Индекс совместимости телевизионного освещения
CRI	Индекс цветопередачи
$R_C\ G_C\ B_C$	Телевизионные сигналы, линейные
$R_M\ G_M\ B_M$	Телевизионные сигналы, линейные после матрицы
Q	Результирующее значение TLCI для осветительного оборудования
$R_C'G_C'B_C'$	Телевизионные сигналы, с гамма-коррекцией
CCT	Коррелированная цветовая температура
λ	Длина волны света, в нанометрах, нм
P_λ	Распределение спектральной мощности планковского источника света
$P_{T,\lambda}$ $P_{R,\lambda}$	Распределение спектральной мощности тестовых и эталонных светильников
$\bar{x}_\lambda, \bar{y}_\lambda, \bar{z}_\lambda$	Функции согласования цветов CIE 1931
X,Y,Z	Трехкоординатные значения CIE 1931
$X_T,\ Y_T,\ Z_T\ X_R,$ $Y_R,\ Z_R\ X_W\ Y_W\ Z_W$	Трехкоординатные значения CIE 1931 для тестового и эталонного светильника и белой точки системы
x,y,z	Координаты цветности CIE 1931
$x_D,\ y_D,\ z_D$	Координаты цветности CIE источника дневного света
u,v	Координаты цветности CIE 1960
d	Расстояние цветности от осветительного прибора до его CCT, в значениях CIE1960 uv, нормализованное до 0.00541
T	Цветовая температура осветительного прибора, в Кельвинах
D_λ	Распределение спектральной мощности источника дневного света
S_0,S_1,S_2	Распределение спектральной мощности компонентов дневного света
M_1,M_2	Множители для генерирования распределения спектральной мощности источника дневного света
M_λ	Распределение спектральной мощности источника смешанного освещения
L_λ	Распределение спектральной мощности света, попадающего на датчик(и) камеры
S_λ	Распределение спектральной мощности (коэффициент отражения) цветового образца
$\bar{r}_\lambda, \bar{g}_\lambda, \bar{z}_\lambda$	Распределение спектральной мощности (характеристики) датчика (ов) стандартной камеры
γ	Предполагаемая функция электрооптической передачи по степенному закону для стандартного дисплея
ΔL	Разность освещенности CIEDE2000
ΔL	Разность цветности CIEDE2000
ΔH	Разность оттенка CIEDE2000
ΔE^*	Общая разность CIEDE2000
R_a	Значение CRI
$k\ p$	Коэффициенты взвешивания в вычислении Q
$R_O'G_O'B_O'$	Телевизионные сигналы, с гамма-коррекцией и квантованные для выхода
$R_d\ G_d\ B_d$	Сигналы телевизионного дисплея, в условиях «линейного света»
$V_C\ V_D$	Общее напряжение сигналов из камеры и дисплея