

В целях вычисления согласованных цветовых стимулов для двух разных условий просмотра матричное представление можно расширить путем включения в него преобразования МКО-трехстимульных значений XYZ в относительные колбочковые ответы LMS (M-матрица):

$$\begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix} = \mathbf{M}^{-1} \begin{pmatrix} L_{\text{на max2}} & 0,0 & 0,0 \\ 0,0 & M_{\text{на max2}} & 0,0 \\ 0,0 & 0,0 & S_{\text{на max2}} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1/L_{\text{на max1}} & 0,0 & 0,0 \\ 0,0 & 1/M_{\text{на max1}} & 0,0 \\ 0,0 & 0,0 & 1/S_{\text{на max1}} \end{pmatrix} \mathbf{M} \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix}. \quad (10.11)$$

Фонкризовский расчет смены хроматической адаптации при переходе от одних условий просмотра к другим использовался Бренеманом (1987) для прогнозирования визуальных данных его экспериментов [77]. Результаты приведены на рис. 10.4 на диаграмме цветности $u'v'$. Полые символы представляют данные о бренемановских согласованных цветовых стимулах, а сплошные символы – это данные, спрогнозированные фонкризовской моделью. Заметим, что прогнозы некоей идеальной модели были бы таковы, что сплошные треугольники полностью совпали бы с полыми.

В этом примере цветности стимулов при дневной адаптации (полые кружки на рис. 10.4) были использованы для прогноза координат цветности согласованных стимулов при адаптации по свету лампы накаливания (треугольники). Из рис. 10.4 ясно, что фонкризовская гипотеза в целом верна и что ее современное выражение в виде матрич-

ного расчета согласованных стимулов при смене хроматической адаптации прогнозирует эти стимулы на удивление хорошо.

Авторы работы [78] в свое время опубликовали исследование, в котором согласованные цветовые стимулы были получены путем сравнения по памяти, и фонкризовская гипотеза очень хорошо справилась со своей задачей. Примеры и анализ результатов недавних экспериментов, посвященных преимуществам и ограничениям фонкризовской гипотезы, можно найти в [75].

В упомянутых экспериментах имеет место некоторое несоответствие между визуальными данными и предикторами фонкризовской модели – ученые пытались решить возникшую проблему различными путями, которые будут рассмотрены ниже.

10.1.2. Модель хроматической адаптации Няятани

Одним из важнейшим расширением фонкризовской гипотезы является нелинейная модель хроматической адаптации, разработанная научной командой Няятани. Данная модель была создана на основе фоновой колориметрии, лежащей в сфере интересов светотехники. Корни модели берут начало в исследованиях Мак Адама [79, 80].

Нелинейная модель группы Няятани [80, 81] начинается с управлением усиления, идущим по степенной функции. В этой модели фонкризовские коэффициенты пропорциональны максимумам длинно-, средне- и коротко-

волновых колбочковых ответов, а степень функции зависит от фотометрической яркости адаптирующего поля. Впервые нелинейная функция была заявлена в классической работе Стивенсов [82], посвященной субъективной яркости.

Другой важной и интересной особенностью нелинейной модели является добавка к колбочковым ответам понятие шума, что позволяет моделировать пороговое поведение зрительной системы.

В общем виде модель выражается уравнениями (10.12 – 10.14).

$$L_a = a_L \left(\frac{L + L_n}{L_0 + L_n} \right)^{\beta_L}, \quad (10.12)$$

$$M_a = a_M \left(\frac{M + M_n}{M_0 + M_n} \right)^{\beta_M}, \quad (10.13)$$

$$S_a = a_S \left(\frac{S + S_n}{S_0 + S_n} \right)^{\beta_S}, \quad (10.14)$$

где L_a , M_a и S_a – колбочковые сигналы после адаптации; L , M и S - колбочковые возбуждения; L_n , M_n и S_n – шум; L_0 , M_0 и S_0 – колбочковые возбуждения по адаптирующему полю; β_L , β_M и β_S - степени монотонно растущих функции соответствующих колбочковых возбуждений по адаптирующему полю; a_L , a_M и a_S - коэффициенты, определенные принципом, что точное цветовое постоянство немаркированного манселловского образца сохраняется, если его коэффициент яркости равен коэффициенту яркости адаптирующего поля.

Версия модели Наятани от 1987 г. [83], была принята МКО в качестве пробной: предполагалось, что МКО, действуя через свои технические комитеты, соберет дополни-

тельные данные для тестирования и возможного улучшения модели и решит вопрос о том, рекомендовать ли данную модель Няятани для общего пользования. Результаты тестирования оказались неубедительными, поэтому МКО не приняла модель в качестве кандидата на международный стандарт. Тонкости модели и ее полная формулировка были отработаны в испытательный период и подытожены в техническом отчете МКО [84].

Нелинейная модель Няятани использовалась для прогнозирования брнемановских согласованных стимулов; результаты представлены на рис. 10.5. Предикторы весьма хороши, но все же менее точны, чем у простой фонкризовской модели (рис. 10.4) [3].

Одна из причин этой ситуации состоит в том, что брнемановские данные были собраны в таких условиях просмотра, при которых отсутствовал эффект когнитивного обесцвечивания осветителя, поэтому хроматическая адаптация была неполной и брнемановское адаптирующее поле, построенное на свете ламп накаливания, по ощущению оставалось желтоватым. В результате контрольные визуальные данные оказались сдвинуты в желтую сторону относительно всех предикторов модели Няятани.

Нелинейная модель Няятани способна прогнозировать эффекты Ханта (рост полноты цвета по мере роста адаптирующей яркости), Стивенса (рост светлотного контраста по мере роста яркости) и Хельсона – Джадда (появление цветового тона у немаркированных манселловских образцов при резкохроматичном освещении).

10.1.3. Модель хроматической адаптации Гута

В науке о зрении популярна одна из разновидностей модели Наятани - модель, описанная Гуттом [85, 86].

Гутовская модель не имеет прямого отношения к трехстимульной колориметрии МКО, поскольку колбочковые чувствительности не представлены в виде линейной трансформации МКО - функций цветового соответствия. Этот факт создает определенные трудности в реализации модели.

Гутовская модель – это фрагмент зрительной модели АТД, созданной в результате многолетних усилий по согласованию прогнозов с данными визуальных экспериментов. Большинство этих экспериментов вместо шкалирования по размерностям цветового восприятия основаны на классической пороговой психофизике.

В общем виде Гутовская модель хроматической адаптации сводится в уравнения (10.15 – 10.20):

$$L_a = L_r \left[1 - \left(L_{r0} / (\sigma + L_{r0}) \right) \right], \quad (10.15)$$

$$L_r = 0,66L^{0,7} + 0,002, \quad (10.16)$$

$$M_a = M_r \left[1 - \left(M_{r0} / (\sigma + M_{r0}) \right) \right], \quad (10.17)$$

$$M_r = M^{0,7} + 0,003, \quad (10.18)$$

$$S_a = S_r \left[1 - \left(S_{r0} / (\sigma + S_{r0}) \right) \right], \quad (10.19)$$

$$S_r = 0,45S^{0,7} + 0,00135, \quad (10.20)$$

где L_a , M_a и S_a – колбочковые сигналы после адаптации; L , M и S – колбочковые возбуждения; L_{r0} , M_{r0} и S_{r0} – колбочковые возбуждения по адаптирующему полю после нелинейной компрессии; σ – некая постоянная, характеризующая шумовой фактор. Согласно [3], $\sigma = 300$. Нужно отметить, что колбочковые ответы в этой модели должны выражаться в абсолютных единицах, поскольку уровень фотометрической яркости не учитывается.

Взаимоотношение гутовской модели с фонкризовской можно выразить с помощью некой математической манипуляции: если проигнорировать изначальную нелинейность, фонкризовский коэффициент усиления для гутовской модели может быть выведен, из уравнения (10.13) по формуле (10.21):

$$k_L = 1 - \left(L_{r0} / (\sigma + L_{r0}) \right). \quad (10.21)$$

Взаимоотношение гутовской модели с традиционными фонкризовскими коэффициентами становятся понятными, если выполнить алгебраическую замену согласно следующим уравнениям (10.22 – 10.24):

$$k_L = (\sigma + L_{r0}) / (\sigma + L_{r0}) - L_{r0} / (\sigma + L_{r0}), \quad (10.22)$$

$$k_L = (\sigma + L_{r0} - L_{r0}) / (\sigma + L_{r0}), \quad (10.23)$$

$$k_L = \sigma / (\sigma + L_{r0}). \quad (10.24)$$

Разница между моделью Гута и фон Криза в принципе заключена в наличии шумового фактора σ .

На рис. 10.6 показаны бренемановские согласованные цветовые стимулы.

Из этого рисунка видно, что имеет место систематический разброс между визуальными данными и их предикторами. Данный разброс можно отследить по σ -параметру: с одной стороны, бренемановские данные хорошо прогнозируются простой моделью фон Криза, а с другой стороны, при уменьшении σ -параметра предикторы гутовской модели улучшаются, следовательно существует некая ущербность модели Гута.

В то же время, в качестве структуры общей зрительной модели, модель Гута вполне способна к удовлетворительному прогнозированию визуальных данных. Однако для разных условий просмотра и разных визуальных экспериментов модель зачастую требует малых значений в управлении своими параметрами, что привлекательно при попытках прогнозирования различных феноменов зрительного восприятия, но модель совершенно неприемлема в большинстве прикладных сферах [76].

10.1.4. Модель хроматической адаптации Фершильда

Бренемановские результаты, демонстрирующие не-полноту хроматической адаптации, подтолкнули исследователей к проведению ряда экспериментов, целью которых было выявление степени хроматической адаптации к стимулам различных видов и это было поводом к очередной

модификации фонкризовской гипотезы [86]. Эта модель приобрела способность прогнозировать степень адаптации, основываясь непосредственно на адаптирующем стимуле.

Эта модель, подобна модели Наятани, полностью совместима с МКО-колориметрией, но ориентирована скорее на науку об изображении, нежели на светотехнику. Приведем краткое описание этой модели Фершильда, согласно [3]. Модель сконструирована так, чтобы, с одной стороны, быть простой в обращении, а с другой – включить в себя и когнитивное обесцвечивание осветителя, и эффект Ханта, и неполноту хроматической адаптации.

Математически модель Фершильда формулируется в виде серии матричных преобразований.

Первое преобразование это преобразование CIE-трехстимульных значений XYZ в фундаментальные трехстимульных значения LMS для первых условий просмотра, как это показано в уравнениях (10.25, 10.26) (преобразование Ханта – Поинтера – Эстеvec [3] с нормировкой на D65-осветитель):

$$\begin{vmatrix} L_1 \\ M_1 \\ S_1 \end{vmatrix} = M \begin{vmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{vmatrix}, \quad (10.25)$$

$$M = \begin{vmatrix} 0,4002 & 0,7076 & -0,0808 \\ -0,2263 & 1,1653 & 0,0457 \\ 0,0 & 0,0 & 0,9182 \end{vmatrix}. \quad (10.26)$$

Далее – применение модифицированного фонкризовского расчета смены хроматической адаптации, учитывающего неполноту последней (уравнения 10.27 – 10.31):

$$\begin{vmatrix} L'_1 \\ M'_1 \\ S'_1 \end{vmatrix} = A \begin{vmatrix} L_1 \\ M_1 \\ S_1 \end{vmatrix}, \quad (10.27)$$

$$A = \begin{vmatrix} a_L & 0,0 & 0,0 \\ 0,0 & a_M & 0,0 \\ 0,0 & 0,0 & a_S \end{vmatrix}, \quad (10.28)$$

$$a_M = P_M / M_n, \quad (10.29)$$

$$P_M = \frac{(1+Y_n^p+m_E)}{1+Y_n^p+1/m_E}, \quad (10.30)$$

$$m_E = \frac{3(M_n/M_E)}{L_n/L_E+M_n/M_E+S_n/S_E}, \quad (10.31)$$

где Y_n – фотометрическая яркость адаптирующего стимула в кд/м² (подстрочные индексы n относятся к адаптирующему стимулу, а подстрочные индексы E – к равноэнергетическому осветителю); показатель степени $\nu = 1/3$.

Переменные p и a для коротко – (S) и длинно- (L) волновых колбочковых чувствительностей рассчитываются аналогичным образом.

Уравнения неполной хроматической адаптации основаны на аналогичных уравнениях Хантовской модели цветового восприятия [87].

Переменные a – это модифицированные фонкризовский коэффициенты; переменные p представляют долю от полной фонкризовской адаптации и, когда адаптация неполна, т.е. не равна единице; p -значения зависят от яркости адаптирующего стимула и его цвета: если яркость растет – степень полноты адаптации выше, если цветность адаптирующего стимула удаляется от нормальной точки (равно-

энергетический осветитель) – степень адаптации снижается [152]. В случае наступления когнитивного обесцвечивания осветителя, переменные p_L , p_M и p_S равны единице [154].

Уравнения (10.30, 10.31) реализуют данный механизм внутри модели, и выдаваемые им предикторы вполне адекватны визуальным экспериментальным данным [75, 86, 87].

Завершающим шагом в вычислении постадаптационных сигналов является преобразование, которое по уравнениям (10.32 – 10.34) позволяет рассчитать яркостно-зависимое взаимодействие между колбочками трех типов:

$$\begin{vmatrix} L_a \\ M_a \\ S_a \end{vmatrix} = C \begin{vmatrix} L'_1 \\ M'_1 \\ S'_1 \end{vmatrix}, \quad (10.32)$$

$$C = \begin{vmatrix} 1,0 & c & c \\ c & 1,0 & c \\ c & c & 1,0 \end{vmatrix}, \quad (10.33)$$

$$c = 0,219 - 0,0784 \log(Y_n). \quad (10.34)$$

Переменная c , известная как «цепная модель», взята из [78]. В этой модели переменные взаимодействия были введены для прогнозирования яркостно-зависимых эффектов. С той же целью C -матрица была включена в модель Фершильда.

Для определения цветностей согласованных стимулов по вторым адаптирующим условиям, для них должны быть получены матрицы «А» и «С», затем инвертированы и применены согласно уравнениям (10.35 – 10.37).

Результирующую модель можно выразить в виде отдельного матричного уравнения (10.38).

$$\begin{bmatrix} L'_2 \\ M'_2 \\ S'_2 \end{bmatrix} = C_2^{-1} \begin{bmatrix} L_a \\ M_a \\ S_a \end{bmatrix}, \quad (10.35)$$

$$\begin{bmatrix} L_2 \\ M_2 \\ S_2 \end{bmatrix} = A_2^{-1} \begin{bmatrix} L'_2 \\ M'_2 \\ S'_2 \end{bmatrix}, \quad (10.36)$$

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = M^{-1} \begin{bmatrix} L_2 \\ M_2 \\ S_2 \end{bmatrix}, \quad (10.37)$$

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = M^{-1} A_2^{-1} C_2^{-1} C_1 A_1 M \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix}. \quad (10.38)$$

Дальнейшие эксперименты [87] показали, что C -матрица создавала дополнительную нежелательную зависимость от яркости, что приводило к общему сдвигу светлоты. Данный сдвиг не оказывал влияния на качество репродуцирования изображений, поскольку сдвигалось все изображение целиком. Однако C -матрица вводила серьезную систематическую ошибку в предикторы цветов простых одиночных стимулов. В итоге модель была пересмотрена [88] и эта C -матрица исключена.

Данные изменения, наряду с некоторыми упрощениями в уравнениях, были объединены и заложены в основу последней версии RLAB-модели цветового восприятия [89].

На рис. 10.7 показаны предикторы бренимановских согласованных цветовых стимулов, выполненные по фершильдской модели смены хроматической адаптации. Предикторы, выдаваемые обеими (оригинальной и упрощен-

ной), идентичны и не менее хороши. Количественный анализ всех брэнемановских данных подтверждает этот результат [90].

10.1.5. Семейство CAT моделей хроматической адаптации

В 1998 году CIE приняла модель цветового восприятия CIECAM97, которая задействует модифицированный вариант расчета смены хроматической адаптации, известный как «Брэдфордское преобразование». По сути Брэдфордская трансформация – это фонкризовский расчет плюс дополнительные степенная нелинейность по синему каналу и оптимизированные колбочковые чувствительности. Нелинейность по синему каналу создает ряд практических проблем в плане инверсии CIECAM97s-модели, поэтому акцент был на простых, линейных, расчетах смены хроматической адаптации (CAT), построенных путем оптимизации матричного преобразования XYZ в RGB-значения, выполненного до фонкризовской нормировки [3].

В [156] опубликован обзор линейных CAT, предназначенных для пересмотра CIECAM97s и перехода к CIECAM02. Для получения оптимальной матрицы в расчетах были задействованы различные методики, но все они давали разные предикторы и у каждой были свои преимущества и недостатки. Оптимальная схема линейного матричного преобразования найдена, и результаты оказались также хороши, что и у нелинейной CAT, включенной в CIECAM97s. Столь удачный исход привел к созданию и утверждению техническим комитетом CIE модели цвето-

вого восприятия CIECAM02, использующей линейную CAT [91 - 97].

Международная комиссия по освещению выбрала линейную CAT, основанную на матрице, оптимизированной к широкому диапазону согласованных цветовых стимулов и поддерживающей приблизительную совместимость с нелинейным CIECAM97 s-преобразованием. Расчет смены хроматической адаптации, известный как CAT02 приведен в уравнениях (10.39, 10.40).

$$\begin{aligned} & \begin{vmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{vmatrix} = \\ & = M_{\text{CAT02}}^{-1} \begin{vmatrix} R_{\text{ад2}} & 0,0 & 0,0 \\ 0,0 & G_{\text{ад2}} & 0,0 \\ 0,0 & 0,0 & B_{\text{ад2}} \end{vmatrix} \cdot \\ & \begin{vmatrix} 1/R_{\text{ад1}} & 0,0 & 0,0 \\ 0,0 & 1/G_{\text{ад1}} & 0,0 \\ 0,0 & 0,0 & 1/B_{\text{ад1}} \end{vmatrix} M_{\text{CAT02}} \begin{vmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{vmatrix} \end{aligned} \quad (10.39)$$

$$M_{\text{CAT02}} = \begin{vmatrix} 0,7328 & 0,4296 & -0,1624 \\ -0,7036 & 1,6975 & 0,0061 \\ 0,0030 & 0,0136 & 0,9834 \end{vmatrix}. \quad (10.40)$$

В целом процесс представляет собой фонкризовский расчет, но с тем отличием, что конверсия производится из CIE-трехстимульных значений XYZ в заостренные колбочковые чувствительности (RGB) по M_{CAT02} – матрице.

На рис. 10.8 хорошо видно, что спектральные чувствительности, представленные M_{CAT02} , отличны от колбочко-

вых чувствительностей Ханта - Поинтера – Эстеvec, используемых во многих моделях хроматической адаптации и моделях цветового восприятия [3]. Следует обратить внимание, что модифицированные чувствительности спектрально - самостоятельнее, острее и содержат отрицательные значения.

Выше был рассмотрен алгоритм модели цветопередачи и воспроизведения телевизионного изображения на экране телеприемника. Блок-схема этого алгоритма приведена в приложении ПЗ.

Далее приведем результаты работы данной модели и проанализируем их.

10.2. Результаты и анализ работы модели цветопередачи

Рассмотрим результаты работы описанной выше модели цветовоспроизведения. На рис. 10.9 приведены результаты в графическом виде на плоскости работы данной модели.

Входные данные модели составляли следующие параметры:

1. За исходные стимулы, предъявляемые телекамере, использовались цвета из атласа Манселла, причем номера цветов (см. рис. 10.9) в модели можно было менять, но здесь (рис. 10.9) были использованы следующие номера: 1, 12, 23, 34, 45, 56, 67, 78, 89, 100, 111 и 122 (рис. 10.10).

2. Телевизионная камера трехканальная со спектральными характеристиками чувствительности, имеющих вид, как это показано на рис. 10.11.
3. Опорный белый для телеприемника *D6500*, этот же источник белого является «равносигнальный» для каналов *RGB* телекамеры.
4. Стандарт телеприемника ЕС с координатами цветности основных цветов экрана [166]:

$$x_R = 0,64; \quad y_R = 0,33; \quad x_G = 0,29; \quad y_G = 0,60; \quad x_B = 0,15; \quad y_B = 0,06.$$

5. Целевой источник света для адаптации является источник *S*, что соответствует цвету голубого неба [54].
6. Модель хроматической адаптации – Bradford-модель описываемой следующими выражениями:

$$\begin{bmatrix} X_D \\ Y_D \\ Z_D \end{bmatrix} = [M_A]^{-1} \cdot \begin{bmatrix} L_D/L_S & 0 & 0 \\ 0 & M_D/M_S & 0 \\ 0 & 0 & S_D/S_S \end{bmatrix} [M_A] \begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix}. \quad (10.41)$$

где X_S, Y_S, Z_S – координаты X, Y, Z стимула;

L_S, M_S, S_S – колбочковые ответы на исходный белый;

$$\begin{bmatrix} L_S \\ M_S \\ S_S \end{bmatrix} = [M_A] \cdot \begin{bmatrix} X_{WS} \\ Y_{WS} \\ Z_{WS} \end{bmatrix}, \quad (10.42)$$

X_{WS}, Y_{WS}, Z_{WS} – координаты исходного белого (D6500),

$$[M_A] = \begin{bmatrix} 0.8951 & 0.2664 & -0.1614 \\ -0.7502 & 1.7135 & 0.0367 \\ 0.0389 & -0.0685 & 1.0296 \end{bmatrix}, \quad (10.43)$$

L_D, Y_D, Z_D – координаты стимула;

L_D, M_D, S_D – колбочковые ответы на белый;

$$\begin{bmatrix} L_D \\ M_D \\ S_D \end{bmatrix} = [M_A] \cdot \begin{bmatrix} X_{WD} \\ Y_{WD} \\ Z_{WD} \end{bmatrix}; \quad (10.44)$$

X_{WD}, Y_{WD}, Z_{WD} – координаты целевого белого.

На рис. 10.12 показаны результаты работы модели воспроизведения цвета на экране телевизионного приемника (то же, что и рис. 10.9, но в трехмерном пространстве).

На рис. 10.13 а) показано влияние внешней засветки экрана телеприемника источником типа А (лампа накаливания) и б) источник типа S (цвет голубого неба) в трехмерном пространстве диаграммы u' и v' .

На рисунках 10.14 – 10.16 показаны изменения цветности, воспринимаемой мозгом человека в зависимости от цветности, воспроизводимой на экране телеприемника в зависимости от источника внешнего освещения во время просмотра телепередачи. На этих рисунках принято следующее: точки, отмеченные цифрами – соответствуют цветам из атласа Манселла (в соответствии с таблицей 10.1) и являются оригиналами цветов, передаваемых теле-

камерой. Точки, обозначенные этими же цифрами, но имеющие один штрих – обозначают цвета воспроизведенные экраном телеприемника. В общем, эта разница координат и является цветовыми искажениями телевизионного тракта «от света до света», которые были рассмотрены в [99, 100]. Но так как в данной модели применена модель хроматической адаптации, то воспринимаемый мозгом цвет будет изменен под действием цвета внешней засветки экрана телеприемника. Этот воспринимаемый цвет, вызывает цветовые ощущения, обозначенные на этом рисунке, как точки с цифрами, имеющие двойные штрихи, что приводит к дополнительным цветовым искажениям. На этих рисунках, для примера показано изменение цветового тона цвета б воспроизведенного на экране как цвет б' и воспринимается мозгом человека как цвет б''.

Видно, что эти два цвета имеют различные цветовые тона и насыщенности (на рисунках. 10.14 – 10.16 это различие отображено линиями красного цвета). Величина этих дополнительных цветовых искажений в первую очередь зависит от цвета внешней засветки, ее интенсивности и конечно от точности самой модели хроматической адаптации.

Таблица 10.1.

Условное обозначение цветов на рис. 10.12 – 10.16
и их соответствия цветам атласа Манселла

Условное обозначение цвета на рисунках 5.15 – 5.17.	Цвета из атласа Манселла (рис.5.2)	Координаты цвета		
		X	Y	Z
1	2	15635,9	5959,8	833,9
2	13	1533,6	875,1	328,1
3	24	2941,9	2634,0	327,3
4	35	3179,0	3373,5	311,1
5	46	1704,7	2248,1	210,1
6	57	834,5	1595,3	584,2
7	68	341,5	1777,0	1159,5
8	79	563,9	1906,9	2091,3
9	90	522,9	1084,0	2100,4
10	101	848,6	894,0	2881,7
11	112	2441,3	908,1	3311,5
12	123	696,7	442,3	538,5

10.3. Предложения по уменьшению влияния внешней засветки во время просмотра телепередачи.

В 1967 году в нашей стране начались регулярные цветные телепередачи. За последние неполные 45 лет техника цветного телевидения широко шагнула в перед. Цветные кинескопы телеприемников заменили жидкокристаллические и плазменные панели. Яркость и контрастность цветного телевизионного изображения значительно превосходит эти же параметры у цветных трехлучевых кинескопов. Снята проблема сведения лучей, присущая трехлучевому кинескопу. Качество цветного изображения стало значительно лучше, а с полным переходом на цифровое цветное телевидение – еще более повысит качество цветной телевизионной репродукции.

Не смотря на технический прогресс в области телевизионной техники, который увеличивает качество телевизионного изображения, существует фактор, ухудшающий цветовосприятие с экрана телеприемника. Этот фактор является внешняя засветка во время просмотра телепередач. В некоторых случаях внешняя засветка экрана телеприемника практически очень мало зависит от человека, например просмотр телепередачи в дневное время суток. В это время уровень засветки, оптического спектра (цветовая температура) зависит от погодных условий. В вечернее время суток человек может в определенной степени регулировать уровень освещения помещения, в котором производится просмотр телепередач [101 - 105]. В предыдущем параграфе

фе этой главы приведены результаты моделирования процесса цветовосприятия телевизионного изображения. Рассмотрим физический процесс возникающий при этом. На рис. 10.17. [49] изображены относительные распределения энергии в спектре дневного солнечного света, а на рис.10.18 показаны спектры излучения стандартных источников А, В, С и дневной солнечный свет (штриховая линия).

Для примера, предположим, что в помещении, где производится просмотр телепередач, в качестве источника света включена лампа накаливания (источник А). Складывая спектральные характеристики синего, зеленого и синего фильтров ЖК – панели с спектром излучения источника А видно, что изображение на экране телеприемника будет окрашиваться в «желто-красные» тона. Конечно, в этом случае не будет аддитивного процесса сложения цветов экрана телеприемника и цвета источника внешнего освещения, здесь процесс несколько сложнее, я бы его назвал аддитивно-субтрактивное сложение цветов, поскольку часть спектра источника внешнего освещения поглощается экраном телеприемника, а часть – отражается и при этом складывается с излучением экрана. Но, тем не менее, в этом случае цветность изображения на экране телеприемника сдвигается в желтую область. Это же показывает и модель цветовоспроизведения на экране телеприемника (рис. 10.14). Очевидно, произойдет практически тоже самое при внешнем освещении источником S (цвет голубого неба), но в этом случае цвет репродукции на телеэкране будет сдвигаться в синюю область цветов, что и подтверждает модель (рис. 10.16). Малые цветовые искажения, вы-

260

званные внешней засветкой источником D7500 можно объяснить, тем, что источник D7500 имеет малую контрастность относительно источника D6500 (координаты этих источников очень близки между собой), на который настроен экран телевизора, как на опорную белую цветность, поэтому при засветке телеэкрана этими источниками мало изменяет цветность телерепродукции (рис.10.15). Но к сожалению эта ситуация встречается крайне редко.

И так существует проблема цветовых искажений, которые ни как нельзя решить методом улучшения качественных характеристик, как канала связи, так и аппаратуры телецентра и телевизионных приемников. В настоящее время выпускаются интеллектуальные телевизоры. Суть, которых заключается, в том, на передней панели телевизора установлен фотометр, который позволяет измерять яркость внешнего освещения и в зависимости от измеренной яркости автоматически регулируется яркость и контрастность телевизионного изображения. Это в некоторой степени снимает часть поставленной проблемы, но полного и достаточного решения поставленной проблемы не дает.

Для решения этой проблемы необходимо знать либо оптический спектр интегрального излучения источника внешней засветки, либо знать координаты цвета этого излучения (по оптическому спектру легко можно определить эти координаты). Использовать спектрофотометр в телевизоре, пожалуй, неоправданно дорогое решение этой проблемы, да и время измерения спектра и время расчета координат может оказаться весьма большим. В этом отношении, пожалуй, лучший результат можно достичь с помощью обычного фотоэлектрического трех цветного колори-

метра, параллельного действия. Особой высокой точности измерения здесь не требуется и будет вполне достаточно 0,05 – 0,1 от измеряемой величины цветности по x и y . Подобный колориметр может быть построен по методу с применением «масок» (рис. 5.7, стр. 199, том I). Но для быстроты измерения фотоэлектрический колориметр должен быть непременно параллельного типа, т.е. на его электрических выходах должны всегда присутствовать сигналы текущего измерения координат цвета внешнего излучения, например, соответственно X, Y и Z каналов. При использовании колориметра, реализованный по методу масок, необходимо использовать три таких колориметра, каждый из которых настроен, соответственно X, Y и Z каналы.

Схема выходных каскадов цветовых сигналов, при этом будет иметь вид, как показано на рис. 10.19.

Рассмотрим работу данной схемы. Сигналы с видеодетектора (или с матрицы) E_R , E_G и E_B поступают на арифметическое устройство, для вычисления координат цвета элемента изображения. Эти вычисления производятся по формуле:

$$\begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_R & x_G & x_B \\ y_R & y_G & y_B \\ z_R & z_G & z_B \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} E_R \\ E_G \\ E_B \end{bmatrix} \quad (10.45)$$

и координаты цветности:

$$x_0 = \frac{X_0}{X_0 + Y_0 + Z_0}; \quad y_0 = \frac{Y_0}{X_0 + Y_0 + Z_0}.$$

Эти формулы справедливы для линейного видеоприемника. В случае наличия нелинейности, необходимо значения сигналов E_R, E_G и E_B возвести в степень γ_R, γ_G и γ_B .

Далее, вычисленные координаты цвета X_0, Y_0 и Z_0 поступают в блок вычисления воспринимаемых координат цвета под воздействием влияния внешнего источника освещения, координаты которого, измеренные колориметром, X, Y и Z поступают в этот же блок. Этот блок по своей сути является моделью хроматической адаптацией. Некоторые из известных моделей описаны выше в данной главе. На выходе этого блока получаем координаты цвета, которые воспринимаются нашим мозгом при просмотре телевизионного изображения. В зависимости от координат цвета внешнего источника освещения, полученные координаты будут сдвинуты в любую область цветов, но нам необходимо получить координаты цвета сдвинутые в противоположенную сторону, но так, чтобы эти координаты не выходили за пределы цветового треугольника основных цветов, так как в этом случае воспроизвести этот цвет не удастся. Эта «инверсия координат» производится в блоке «Вычисление необходимых координат», на выходе которого получаем координаты X_2, Y_2 и Z_2 .

Зная необходимые координаты цвета из (10.45) находим необходимые величины сигналов E_R, E_G, E_B , которые и управляют экраном телеприемника, воспроизводя при этом несколько другой цвет, а за счет внешней засветки наш мозг будет воспринимать цвет, имеющий первоначальный цвет (или почти первоначальный цвет). Таким образом, можно в значительной степени скорректировать и

уменьшить цветовые искажения, воспринимаемые нашим мозгом.

Возможен и второй способ решения данной проблемы и состоит в том, что вычислительные блоки (рис. 10.19) заменяются блоком постоянной памяти (ПЗУ), в которой «защиты» значения необходимых значений видеосигнала. Структурная схема реализации этого способа приведена на рис. 10.20.

Можно определить необходимый объем памяти ПЗУ. Пусть количество цветов, которое воспроизводится телеприемником равно пятьсот тысяч, а количество типов источников внешнего освещения не превышает пятидесяти. Тогда при 8-битном кодировании видеосигнала необходимый объем постоянного запоминающего устройства должен составлять: $500000 * 50 = 25000000$ байт, или 25 мегабайт, что вполне приемлемо.

На рис. 10.21 – 10.23 показано работа данного метода компенсации внешней засветки экрана телеприемника. Дополнительные обозначения на этих рисунках состоят в следующем: цифры с тремя штрихами – обозначают точки цвета, которые должен воспроизводить экран телеприемника, которые за счет действия внешней засветки воспроизводятся глазом (мозгом наблюдателя) как цвета воспроизводимые телеэкраном – цифры со звездочкой. Необходимо отметить, что воспроизводимые цвета, которые лежат на линии треугольника основных цветов телеэкрана требуют отрицательного значения величины видеосигнала основного цвета, определяемого противоположенной точкой цветового треугольника основных цветов телеэкрана. К примеру, на рис. 10.21 цвета 6 -10 лежат близко к линии