

УДК 669.017

## СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

*С.И. Галанин, С.В. Успенский, А.С. Галанина, В.О. Агафонов*

Описаны методики определения цвета и отражательной способности различных металлических поверхностей, в том числе сложной формы и малых геометрических размеров

В современном мире цвет играет чрезвычайно важную роль, он часто является необходимой составляющей коммерческого успеха производимой продукции. Воспринимаемый нами цвет предмета зависит от множества факторов, таких как его размер, фактура и текстура поверхности, освещение, цвет и освещённость фона и окружения. И, что более важно, цвет является субъективным феноменом и существенно зависит от наблюдателя, что затрудняет его измерение [1].

Художественно-эстетическое восприятие художественных ювелирных изделий из различных металлов, наряду с блеском, в значительной степени определяется их цветом, особенно в последнее время, когда значительно расширилась номенклатура и цветовая гамма металлов и сплавов, используемых при изготовлении украшений. Однако на сегодняшний день не существует простых способов и оборудования для определения цвета и отражательной способности (блеска) поверхности ювелирных изделий, во-первых, из-за малой их величины, во-вторых, из-за зависимости цвета металла от освещения. Поэтому их создание является весьма актуальной задачей [2].

Цвет – это свойство света вызывать зрительные ощущения в соответствии с длиной волны излученного или отраженного света, т.е. спектральными характеристиками света. Видимый свет (рис.1) – это электромагнитные колебания с длиной волны от 370 до 760 нм (от фиолетового до красного).

Диапазон отражённых от поверхности, например, металла длин волн зависит от природы материала. Сохранение цвета, как и блеска, зависит от химической стойкости, твердости материала и технологии обработки его поверхности [3]. Цвет можно определить как визуально, так и при помощи различных приборов. Визуальный способ субъективен и применим только для предварительной оценки. Определить цвет образца и его цветовое отличие от эталона можно инструментальными спектрофотометрическими методами,

используя трехцветный колориметр, двулучевой спектрофотометр, спектральный анализатор и др. [4]. Спектрофотометрические методы заключаются в измерении коэффициентов отражения и интенсивностей спектрально разложенных световых потоков. Их использование на производстве даёт точные результаты, позволяет исключить ошибки, связанные с явлением метаметрии, позволяет работать с образцами повышенной цветовой контрастности, а также с образцами, обладающими люминесценцией. Но в спектрофотометрических приборах используются высокоточные оптические системы, оптико-волоконные технологии, высокочувствительные светозадающие элементы [2]. Из-за этого стоимость таких приборов очень высока, и для малых и средних предприятий (каковыми в основном являются ювелирные предприятия) использование этих приборов экономически нецелесообразно.

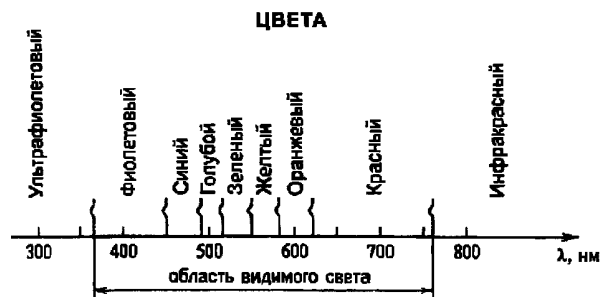


Рис. 1. Спектр видимого света

Следовательно, необходима разработка простых способов определения цвета металлических поверхностей с использованием распространенного относительно недорогого оборудования и программного обеспечения, например программы Adobe Photoshop.

Для получения цветных изображений в виртуальном пространстве существуют алгоритмы представления цвета под общим названием – цветовая модель. Это – математический способ опи-

сания и получения цветов. Цветовые модели различаются по области применения [6]. При работе с программой Adobe Photoshop можно использовать две цветовые модели.

Цветовая модель RGB относится к типу аддитивных, в которых дополнительные цвета образуются путем сложения основных цветов: Red (красный), Green (зеленый), Blue (синий). Сумма трех цветовых каналов дает белый цвет [6].

По известным характеристикам RGB можно рассчитать доли спектрально чистых красного, зеленого и синего светов для получения света, отражаемого образцом, и определения средней длины волны отраженного света. Зная характеристики RGB, можно рассчитать

$$\begin{cases} \bar{r} = \frac{R}{R+G+B}, \\ \bar{g} = \frac{G}{R+G+B}, \\ \bar{b} = \frac{B}{R+G+B}, \end{cases} \quad (1)$$

из (1) следует расчет средней длины волны как функции сложения трех элементарных световых потоков разной интенсивности. Если рассматривать отраженный свет с длиной волны  $\lambda$ , то одна единица энергии  $\lambda$  может быть уравнена аддитивной смесью  $\bar{r}$  единиц  $R$  вместе с  $\bar{g}$  единиц  $G$  и  $\bar{b}$  единиц  $B$

$$1\lambda \equiv \bar{r}R + \bar{g}G + \bar{b}B, \quad (2)$$

где  $R$ ,  $G$  и  $B$  – реальные основные цвета с длинами волн соответственно 700, 546,1 и 435,8 нм.

Тогда среднее значение длины волны отраженного света можно вычислить по формуле

$$\lambda_{cp} = (\bar{r} \cdot 700) + (\bar{g} \cdot 546,1) + (\bar{b} \cdot 435,8). \quad (3)$$

**Цветовая модель Lab** имеет наиболее широкий диапазон, т.к. основана на человеческом восприятии цвета и включает в себя все другие цветовые модели. Любой цвет представляется яркостью (*Lightness*) и двумя хроматическими составляющими:  $a$  – изменяется в диапазоне от зеленого до красного,  $b$  – от синего до желтого. В этой цветовой модели целесообразно конвертировать изображения, а также проводить тоновую коррекцию. Данная цветовая модель – полный прототип системы координат цвета *CIE Lab* (рекомендованной МКО для расчета координат цвета, средней длины волны отраженного света и цветового различия). Она не требует сложных переводов результатов анализа в системы МКО, а также отражает ошибки всего лишь одной величиной –  $L$ .

Основная проблема при работе с редактором *Photoshop 7.0* – необходимость перевода данных диаграмм в размерность системы МКО. Например, в системе *Lab* МКО 1976 г. значение  $L$  изменяется в пределах от 0 до 100, а значения  $a$  и  $b$  от –120 до +120. На диаграмме же в редакторе *Photoshop 7.0* значения всех этих величин изменяются в диапазоне от 0 до 255. Следовательно, для линейного перевода необходимо пользоваться формулами

$$\begin{cases} L^* = \frac{L}{255} \cdot 100, \\ a^* = \frac{a \cdot 240}{255} - 120, \\ b^* = \frac{b \cdot 240}{255} - 120, \end{cases} \quad (4)$$

где  $L$ ,  $a$  и  $b$  – данные диаграммы *Photoshop 7.0*;  $L^*$ ,  $a^*$  и  $b^*$  – координаты в системе *CIE Lab* 1976 г.

Для более точного расчета необходимо знать точные кривые распределения спектрально чистых цветов, учитывая интенсивность каждого из трех цветов, построить кривую распределения отраженного от образца света. Далее следует продифференцировать площадь под кривой и получить действительную среднюю длину волны. Если произвести вышеперечисленные действия, расчет среднего значения будет не важен, т.к. полученный график, схожий с реальным составом отраженного света, будет отображать все особенности данного цвета, включая метамерию.

По третьей рекомендации МКО для приблизительно равномерного пространства  $L^*a^*b^*$  МКО 1976 г., которое имеет официальное сокращение *CIE Lab*, расчет ведётся со следующими исключениями:

$$\begin{cases} L^* = 116(Y_R)^{1/3} - 16, \text{ если } Y_R > 0,008856, \\ L^* = 903,3Y_R, \\ a^* = 500[f(X_R) - f(Y_R)], \\ b^* = 0,4 \cdot 500[f(Y_R) - f(Z_R)]. \end{cases} \quad (5)$$

По приведенным выше зависимостям выводятся формулы расчета  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  из известных значений  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ :  
при  $Y_R > 0,008856$

$$\begin{cases} Y_R = \frac{L}{903,3}, \\ X_R = \frac{a}{7,787 \cdot 500} + Y_R, \\ Z_R = \left( 7,787Y_R + \frac{16}{116} - \frac{b}{200} \right)^3, \end{cases} \quad (6)$$

при  $Y_R \leq 0,008856$

$$\begin{cases} Y_R = \left( \frac{L+16}{116} \right)^3, \\ X_R = \left[ (a/500) + Y_R^{1/3} \right]^3, \\ Z_R = \left( Y_R^{1/3} - \frac{b}{200} \right)^3. \end{cases} \quad (7)$$

Удельные координаты находятся по следующим формулам:

$$\begin{cases} \bar{x} = \frac{X_R}{X_R + Y_R + Z_R}, \\ \bar{y} = \frac{Y_R}{X_R + Y_R + Z_R}, \\ \bar{z} = 1 - \bar{x} - \bar{y}. \end{cases} \quad (8)$$

В результате определяются значения равновесных координат  $x$  и  $y$ . Они наносятся на график цветности, по которому определяется средняя длина волны отраженного от образца света. Для этого по данным координатам распределения длин волн видимой части строится кривая отраженного света от идеально матового белого тела. При этом все точки, соответствующие всевозможным цветам, должны находиться внутри полученной фигуры. Чем ближе точка в радиальном расположении к точке источника света, тем выше отражающая способность образца.

Ранее разработан прибор и методика определения блеска поверхности [5]. Прибор состоит из микроскопа МСБ-9 с кратностью увеличения  $\times 0,6$ ;  $\times 1$ ;  $\times 2$ ;  $\times 4$  и  $\times 7$ , снабженного поворотным столиком для установки образцов; кронштейна с лампой – точечным источником света; видеокамеры EQ-350/P; тюнера AVER media 305 с функцией «стоп-кадр» и компьютера на базе процессора Intel Pentium III. Исследуемый образец или ювелирное изделие помещается на предметный столик. Источники света при необходимости могут меняться, если возникает потребность в измерении цвета поверхности при разном освещении (дневном и вечернем).

С помощью прибора возможно определение цвета поверхности образца в виде средней длины отраженной световой волны  $\lambda_{\text{ср}}$ , представленной в цифровом виде. Полученная величина сравнивается с характеристиками эталонных образцов. Таким образом, измеряется относительная величина цвета, т.к. для абсолютных значений необходимо наличие источника света, обладающего строго фиксированной спектральной характеристикой. Такой источник в предлагаемом приборе отсутствует. Однако полученные данные

достаточно информативны, т.к. характеризуют цвет металла в реальных условиях эксплуатации ювелирных изделий.

Характеристики RGB фиксированной поверхности анализируются с помощью программы Adobe Photoshop (рис.2). В программе выбирается закладка «гистограмма» и канал цвета: красный соответствует характеристике  $R$ , зеленый –  $G$ , синий –  $B$ . По каждому каналу определяются максимальные значения этого цвета на выбранной поверхности через медиану на линейке гистограммы. Зная характеристики RGB поверхности, можно рассчитать среднее значение длины волны отраженного света по формулам (1)–(3). Полученное значение сравнивается с эталонным.

Описанная методика удобна для быстрого определения цвета реальных ювелирных изделий. Однако определение цвета является относительным, т.к. присутствует обязательное сравнение с эталонными образцами. Другим недостатком является то, что характеристики цвета эталонных образцов могут изменяться с течением времени.

Альтернативой может служить метод прямого сканирования с последующей электронной обработкой. В его основе лежит использование профессиональных сканирующих систем, широко применяемых для контроля качества цветной печати, настройки цветопередачи цветных мониторов и других устройств вывода для вычислительной техники. Прототипом такой сканирующей системы может служить «Scanner EPSON Perfection 1670» с разрешающей способностью в пределах 12800–9600 dpi (точек на дюйм<sup>2</sup>). С его помощью производится сканирование с высоким разрешением части или всей поверхности образца. Полученное изображение сохраняется в .bmp<sup>1</sup> формате и обрабатывается в программе Adobe Photoshop 7.0 и MS Excel 2000.

Метод основан на работе с растровым изображением, полученным сканированием образца с помощью EPSON Perfection 1670. Растровая графика – вид двумерной компьютерной графики, в которой любое изображение представляется как массив цветных точек (пикселей). Все растровые изображения характеризуются размером, разре-

<sup>1</sup> Формат *bmp* (Bit Map) – один из первоначально созданных форматов для сохранения изображения, применим для использования практически во всех современных программах обработки. Основным недостатком является большой размер из-за отсутствия какой-либо системы сжатия. Однако превосходное качество цветопередачи и возможность работы во всех цветовых моделях с любой глубиной цвета делают его незаменимым. На практике он точно передает цветовые тона при получении изображений с устройств ввода, таких как сканер или цифровая фотокамера.

нием и глубиной цвета – количеством информации о цвете в битах, приходящейся на один пиксел изображения [6]. Для лучшего качества использу-

ется разрешение 1200 dpi. Далее изображение сводится к размеру 505×522 dpi глубиной цвета 8 бит и средним размером 770 кбайт.

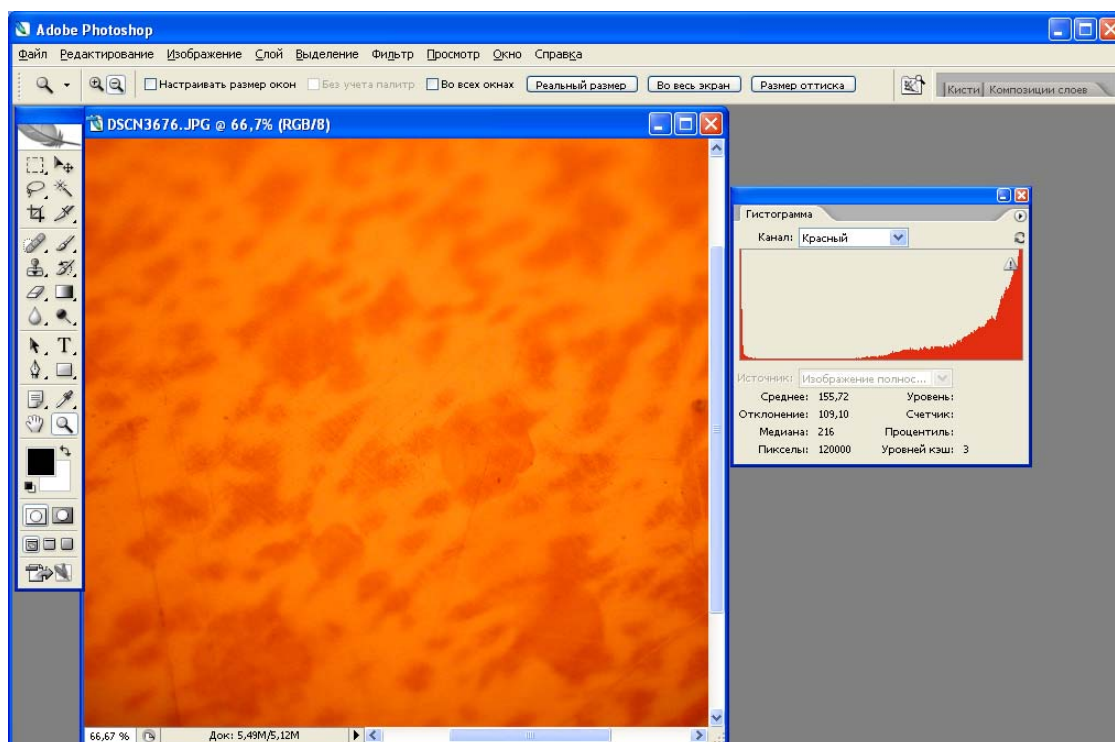


Рис.2. Определение характеристик RGB в программе Adobe Photoshop

Для комплексного анализа цвета и блеска поверхности образцов выполняются следующие действия.

1. Сканирование образца с помощью *EPSON Perfection 1670* при стандартных настройках коррекции цвета (рис. 3). Разрешение выбирается по мере необходимости, в зону сканирования не помещаются заведомо бракованные места образцов.

2. Открытие сканированного изображения в *Photoshop 7.0*.

3. Установка цветовой модели *LAB*: для этого выбирается закладка «Изображение/ Режим/ Лабораторные цвета».

4. Измерение параметров *L*, *a*, *b*. Для этого выбирается закладка «Изображение/ Гистограмма». Из строки «Медиана» выписывается значение для каждого из параметров (в строке «Главное» указывается значение параметра, которому соответствует самое большое число пикселей; в строке «Медиана» указывается среднее значение параметра, полученное дифференцированием площади под кривой).

5. Для определения отражающей способности параметр «Яркость» или *L* в системе *LAB* прорабатывается подробнее: измеряется площадь гистограммы, для чего силуэт упрощается до про-

стейших геометрических фигур, и рассчитывается их суммарная площадь.

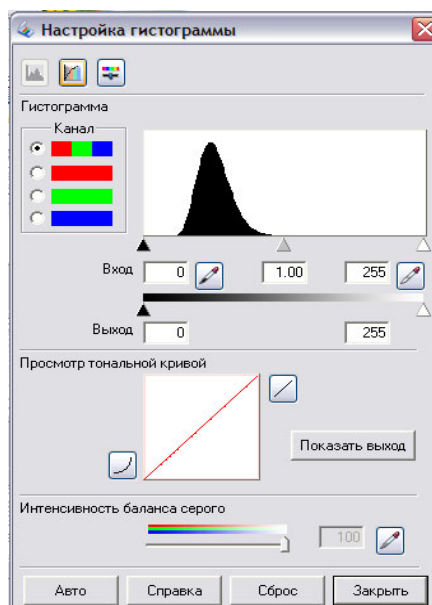


Рис. 3. Коррекция цветовой гаммы при сканировании образцов в *EPSON Scan*

6. Перевод полученных значений с помощью *Photoshop 7.0* в значения, соответствующие стандартам *CIELAB*, используя формулы (1).

7. Расчёт координат цвета по формулам (5)–(7). Для расчёта средней длины волны используется формула (3).

8. Расчёт блеска по формуле [5]

$$БЛ = \frac{A_i / S_i}{A_{\Sigma} / S_{\Sigma}} \cdot 100\%, \quad (9)$$

где  $A_i$ ,  $S_i$  и  $A_{\Sigma}$ ,  $S_{\Sigma}$  – положение пика на линейке гистограммы и площадь под огибающей гистограммы исследуемого образца и эталона соответственно.

В (9) вместо  $A_i$  вставляется значение «Медиана»  $L$  образца и  $A_{\Sigma}$  – значение «Медиана»  $L$  эталона (зеркала).

9. Расчёт цветового различия по формуле

$$\Delta E(L\alpha\beta) = \sqrt{(L^2 + a^2 + b^2)}. \quad (10)$$

Недостатком метода прямого сканирования является возможность получения данных только с плоских образцов.

#### ВЫВОДЫ

Предложены два метода комплексной оценки цвета и блеска поверхности с помощью прибора и прямым сканированием образцов. Методы позволяют с использованием распространённого и относительно недорогого оборудования и программного обеспечения достаточно быстро определять искомые данные.

Методы могут быть с успехом использованы в промышленности для экспресс-оценки показателей поверхности выпускаемой продукции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколова М.Л. Дизайн : учебник для вузов / М. Л. Соколова, И. Ю. Мамедова, М. Ш. Фурникэ ; под ред. Б. М. Михайлова. – М. : МГАПИ, 2005. – 127 с.
2. Контролёр работ по металлопокрытиям : учебник для ПТУ / Н. М. Шмелёва. – М. : Машиностроение, 1985. – 176 с.
3. Соколова М.Л. Металлы в дизайне / М. Л. Соколова. – М. : МИСИС, 2003. – 176 с.
4. Луизов А.В. Цвет и свет / А. В. Луизов. – Л. : Энергоатомиздат, 1989. – 256 с.
5. Способ определения блеска поверхности / С. И. Галанин, С. В. Успенский, М. В. Сорокина, В. Н. Ломгин, Д. Н. Субботин // Вестник Костромского государственного технологического университета. – 2006. – № 13. – С. 71–74.
6. Цвет в промышленности / под ред. Р. Мак-Дональда ; пер. с англ. И. В. Пеневой, П. П. Новосельцева ; под ред. Ф. Ю. Телегина. – М. : Логос, 2002. – 596 с.

**S.I. Galanin, S.V. Uspensky, A.S. Galanina, V.O. Agafonov**  
**SURFACE COLOR DEFINITION METHODS**