

ФІЗИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЧОВИН

УДК 54.08;536.24

Т.Р. Татарчук, Г.О. Сіренко, І.Ю. Старко

Математичний апарат системи колірнього простору CIE L*a*b*

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна*

У роботі проведено аналіз існуючих на сьогодні систем колірнього простору. Першим розглянуто колірний трикутник Максвелла, який утворений трьома основними кольорами: R (червоний), G (зелений) та B (синій). Описано систему CIE XYZ, яка базується на лінійному математичному перетворенні кривих накладання кольорів Максвелла, що позначаються $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ і відомі як криві додавання кольорів стандартного колориметричного спостерігача МКО 1931. Проаналізовано найпоширенішу на даний час систему CIE L*a*b*, виведену шляхом математичних трансформацій простору XYZ. У системі CIE L*a*b* колір характеризується яскравістю L*, величиною червоно-зеленої складової a*, величиною жовто-синьої складової b*, насиченістю C_{ab}^* та колірним тоном h_{ab}^* . Наведено математичні формули переходу між кольорами RGB та кольорами системи CIE L*a*b*.

Ключові слова: колір, колірний простір, CIE L*a*b*, RGB, XYZ.

T.R. Tatarchuk, H.O. Sirenko, I.Yu. Starko

The Mathematical Apparatus of Color Space System CIE L*a*b*

*Vasyl Stefanyk Precarpathian National University,
57, Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine*

The paper analyzes existing systems for today's color space. The first deals with color Maxwell triangle, which is formed by three primary colors: R (red), G (green) and B (blue). We describe a system CIE XYZ, which is based on a linear mathematical transformation curves colors blend Maxwell, designated and known as curves add color standard colorimetric observer CIE 1931. The analysis is currently the most common system CIE L*a*b*, obtained by mathematical transformation of space XYZ. The system CIE L*a*b* color characterized by brightness L*, red-green-largest component a*, the yellow-blue component b*, hue C_{ab}^* and saturation h_{ab}^* . There are mathematical formulas transition between RGB colors and color system CIE L*a*b*.

Key words: color, color space, CIE L*a*b*, RGB, CIE XYZ.

Стаття поступила до редакції 22.10.2014; прийнята до друку 15.12.2014.

Вступ

Для багатьох наукових і практичних досліджень виникає необхідність отримати кількісну оцінку кольору, виразивши його у вигляді численних значень певним чином обраних координат. Коли мова йде про візуальну оцінку кольору спостерігачем, такими координатами можуть бути його якісні характеристики – колірний тон, насиченість і яскравість (світлість, інтенсивність). Колір – це сукупність психофізіологічних реакцій людини на світлове випромінювання, яке походить від освітлюючих предметів (джерело світла) або відображення (відбиття) від поверхні неосвітлюючих предметів, а також пройдене крізь них [1]. Поняття або феномен кольору завжди пов'язаний із суб'єктивним сприйняттям. Тому, колір неможливо точно описати. Опис кольору або, точніше, сприйняття кольору, ускладнюється тим, що один і той же колір залежно від освітлення може сприйматися по-різному. Багато вчених робили спроби оцінити суб'єктивне сприйняття кольору за даними вимірювання.

Для забезпечення можливості спілкування на простій, всім зрозумілій мові, в практиці вимірювання кольору необхідно за допомогою нормативів визначитися з умовами проведення вимірювань. Для цього знадобилися чисельні експерименти за участю великої кількості спостерігачів. Основна маса цих нормативів була розроблена CIE (Міжнародною комісією з освітлення (МКО), з французької – *Commission internationale de*

l'éclairage (CIE)). Як джерело світла передбачається переважно використовувати стандартизовані джерела випромінювання типу С або D65. Спектри обох цих джерел відповідають спектру денного світла. Джерело D65 на відміну від джерела С має ще УФ-складову. Далі були визначені умови геометрії вимірювань. Найчастіше застосовуються варіанти 45/0° і d/0°. У варіанті 45/0° зразок висвітлюється під кутом 45°, а вимір параметрів відбитого світла проводиться під кутом 0°, тобто перпендикулярно до зразка. У варіанті d/0° зразок освітлюється з усіх боків (розсіяне світло), а вимірювання параметрів відбитого світла проводиться під кутом 0°. Всі ці параметри мають дуже велике значення, оскільки співставляти можна тільки дані вимірювання кольору, отримані за однакових умов [2].

Метою даної роботи було проведення порівняльного аналізу кольорових моделей та систем кольорового простору, методів фізичної та математичної формалізації опису кольорів.

I. Колірний трикутник Максвелла

Для того, щоб процес трикомпонентного кольорозмішування був зрозумілішим, його можна зобразити на графіку, осі якого утворені трьома основними кольорами R (червоний), G (зелений) та B (синій). На початку XIX століття Максвелл провів колориметричні дослідження, на основі яких побудував графік, викресливши його на площині у вигляді трикутника, який є проекцією точок тривимірного колірною графіка на одній площині. Отриманий ним рівносторонній трикутник, вершини якого відповідають положенню трьох основних кольорів (червоного R, зеленого G і синього B) так і називається колірний трикутник Максвелла (рис. 1).

У центрах сторін трикутника розташовуються додаткові жовтий (Y), пурпуровий (C) і блакитний (M) кольори, а в точці перетину перпендикулярів, проведених від сторін трикутника, знаходиться білий колір (W), який задається координатами колірності $r = g = b = 1/3$. На лініях W-R, W-G, W-B розташовуються червоні, зелені й сині кольори, а на лініях W-C, W-M, W-Y – додаткові пурпуровий, блакитний і жовтий кольори за ступенем збільшення їх насиченості. Наприклад, колір A_1 визначається координатами кольоровості $r = 0,1$, $g = 0,2$ і отримується змішуванням червоного, зеленого і синього кольорів у відповідних пропорціях, у той час як колір A_2 з координатами кольоровості $r = -0,2$, $g = 0,8$ лежить поза межами колірною трикутника і не може бути отриманий змішуванням червоного, зеленого і синього кольорів.

Значення яскравості в даному трикутнику не враховується. Колірні координати (позначаються r , g , b) вираховуються з координат кольору R, G, B за формулами:

$$r = \frac{R}{R + G + B}; \quad (1)$$

$$g = \frac{G}{R + G + B}; \quad (2)$$

$$b = \frac{B}{R + G + B}. \quad (3)$$

При цьому виходить, що $r + g + b = 1$. Це означає, що для визначення колірних координат необхідно знати значення тільки двох координат (наприклад, r і g), тоді значення третьої координати (b) може бути обчислено з перших двох за формулою (4):

$$b = 1 - (r + g). \quad (4)$$

У колірному трикутнику можна визначити положення будь-якого кольору, утвореного шляхом змішування трьох основних кольорів, якщо відкласти по його сторонах значення одиничних векторів r , g , b , які є колірними координатами певного кольору.

Всі кольори, які були отримані Максвеллом шляхом змішування трьох основних кольорів з позитивними коефіцієнтами, розташовуються усередині окреслюваного ними трикутника. Таким чином, колірний трикутник показує нам ті кольори, які можуть бути отримані шляхом змішування один з одним із трьох обраних основних кольорів, проте не показує нам всіх кольорів, які може бачити людське око [1].

II. Система колірною простору CIE XYZ

Максвелл здійснив свій експеримент у середині XIX століття. Слідом за ним цілий ряд дослідників повторювали досліди по знаходженню кривих складання, використовуючи для цього різні набори зрівнювальних кольорів і апаратуру. Однак виявилось неможливим у всіх випадках зрівняти всі чисті спектральні кольори за допомогою суми трьох кольорів – деяким з них доводилося надавати негативні значення.

Найбільш успішними у своїх експериментах виявилися Райт і Гілд [1]. Експериментальні дані, незалежно отримані Гілдом і Райтом, добре узгоджувалися один з одним і тому можна було їх осереднити, інтерпретуючи отриманий результат як криві додавання кольорів так званого стандартного колориметричного спостерігача. Ці криві позначаються як $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$ і наведені на рис. 2, а їх значення, табульовані з кроком в 20 нм, записані в табл. 1.

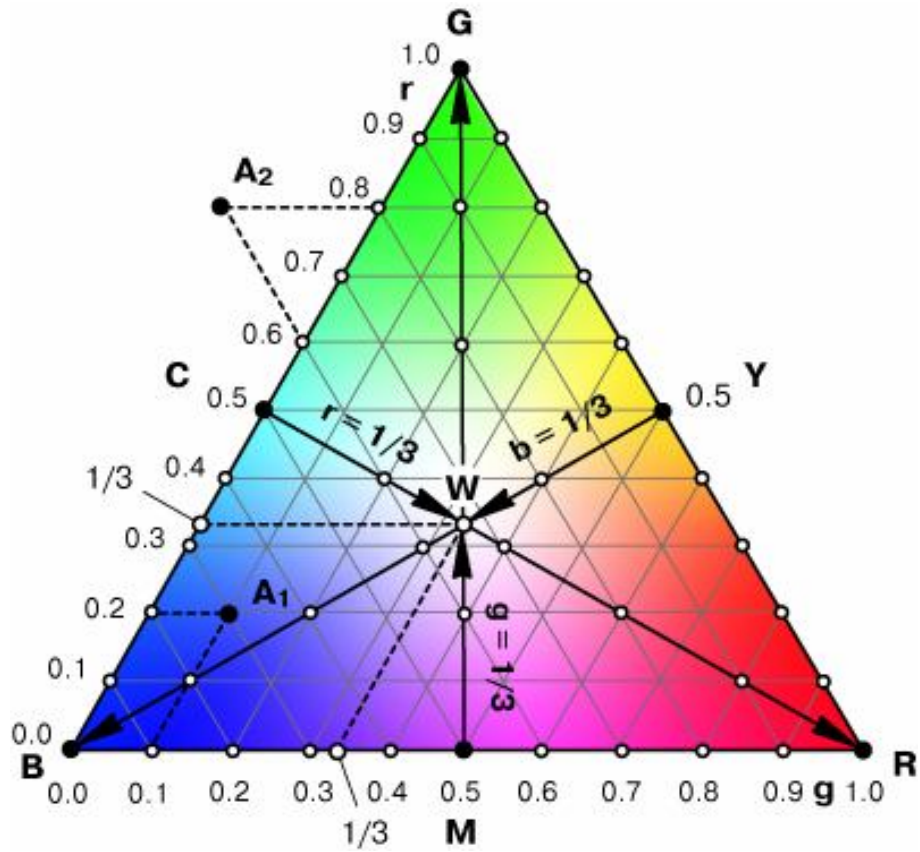


Рис.1. Колірний трикутник Максвелла.

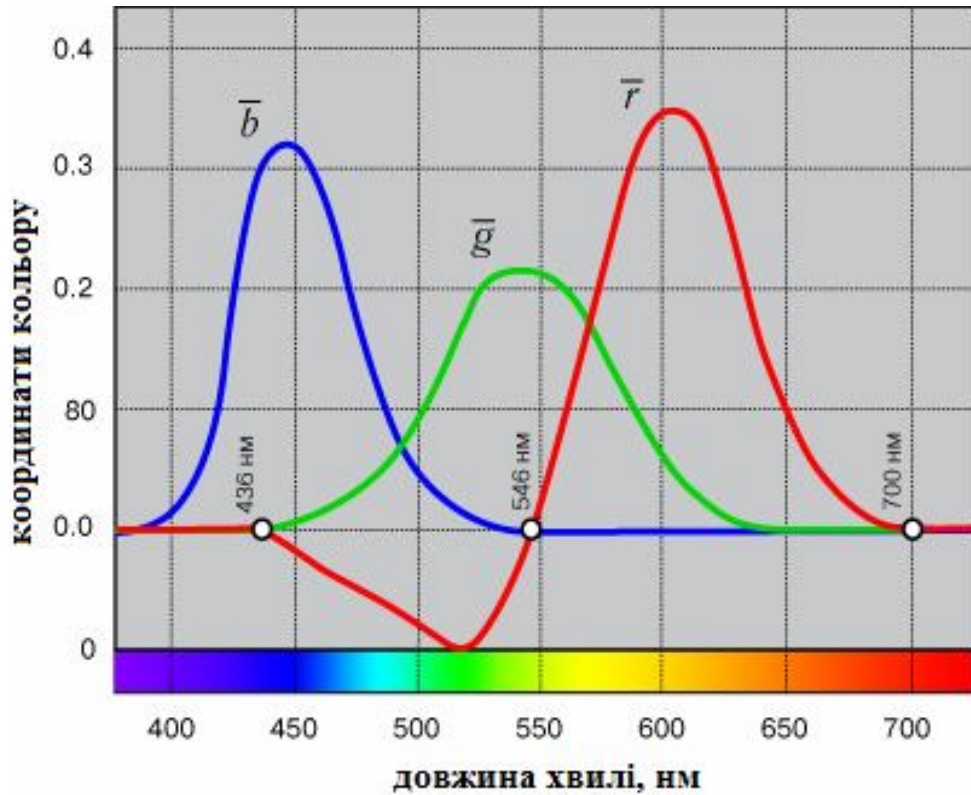


Рис. 2. Криві накладання кольорів $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$ для стандартного колориметричного спостерігача за $R = 700$ нм, $G = 546,1$ нм, $B = 435,8$ нм, які отримані на основі даних дослідів Гілда і Райта.

Функції накладання кольорів r, g, b для стандартного колориметричного спостерігача за R = 700 нм, G = 546,1 нм, B = 435,8 нм (за Гілдом і Райтом)

λ, нм	Ординати кривих накладання			λ, нм	Ординати кривих накладання		
	$\bar{r}(\lambda)$	$\bar{g}(\lambda)$	$\bar{b}(\lambda)$		$\bar{r}(\lambda)$	$\bar{g}(\lambda)$	$\bar{b}(\lambda)$
380	0,00003	-0,00001	0,00117	560	0,09060	0,19702	-0,00130
400	0,00030	0,00014	0,01214	580	0,24526	0,13610	-0,00108
420	0,00211	-0,00110	0,11541	600	0,34429	0,06246	-0,00049
440	-0,00261	0,00149	0,31228	620	0,29708	0,01828	-0,00015
460	-0,02608	0,01485	0,29821	640	0,15968	0,00334	-0,00003
480	-0,04939	0,03914	0,14494	660	0,05932	0,00037	0,00000
500	-0,07173	0,08536	0,04776	680	0,01687	0,00003	0,00000
520	-0,09264	0,17468	0,01221	700	0,00410	0,00000	0,00000
540	-0,03152	0,21466	0,00146	720	0,00105	0,00000	0,00000

Як і слід було очікувати, криві накладання, знайдені Гілдом і Райтом, також, як і криві, отримані Максвеллом, мають від'ємні ділянки, і для більшості кольорів спектру, за винятком трьох основних кольорів (R = 700 нм, G = 546,1 нм і B = 435,8 нм), перекриваються.

Для того, щоби уникнути негативних значень кривих накладання, їх піддали лінійному математичному перетворенню, внаслідок чого були отримані нові криві додавання, що позначаються $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ і відомі як **криві додавання кольорів стандартного колориметричного спостерігача МКО 1931**.

Вони були знайдені шляхом перенесення системи колірних координат, заснованої на використанні трьох основних кольорів R = 700 нм, G = 546,1 нм і B = 435,8 нм, у систему координат, засновану на використанні трьох уявних (які фізично не існують) кольорів X, Y і Z. Ці кольори виконують лише допоміжну математичну роль (рис. 3).

Відповідно до рекомендації МКО перехід від основних кольорів Райта до кольорів XYZ здійснюється за формулами:

$$X = 0,49000 R + 0,31000 G + 0,20000 B; \quad (5)$$

$$Y = 0,17697 R + 0,81240 G + 0,01063 B; \quad (6)$$

$$Z = 0,00000 R + 0,01000 G + 0,99000 B, \quad (7)$$

або у матричній формі:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,49000 & 0,31000 & 0,20000 \\ 0,17697 & 0,81240 & 0,01063 \\ 0,00000 & 0,01000 & 0,99000 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \quad (8)$$

де **R, G, B** — основні кольори з довжинами хвиль 700, 546,1 та 435,8 нм відповідно.

Координати колірності x, y, z будуть визначатися як:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}; \quad (9)$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}; \quad (10)$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}. \quad (11)$$

Функції накладання $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$, які розраховані відповідно до формул (9)-(11), наведено на рис. 4. Фактично вони є лише математичною модифікацією функцій $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$, виведених Райтом і Гілдом [3].

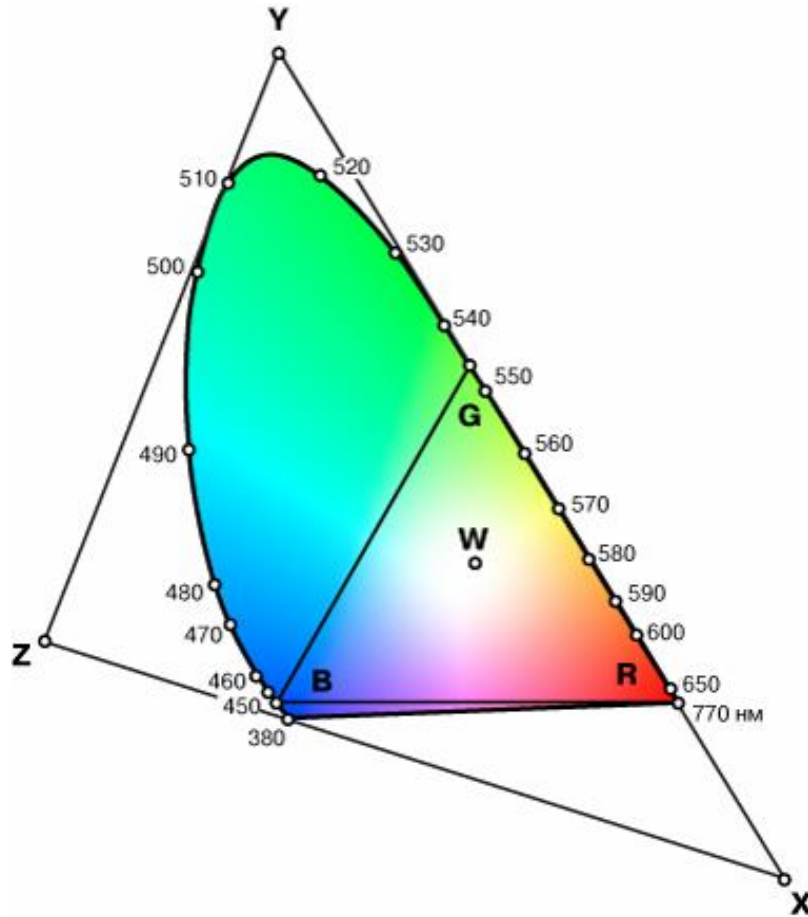


Рис. 3. Колірний трикутник і лінія чистих спектральних кольорів у координатах уявних кольорів XYZ.

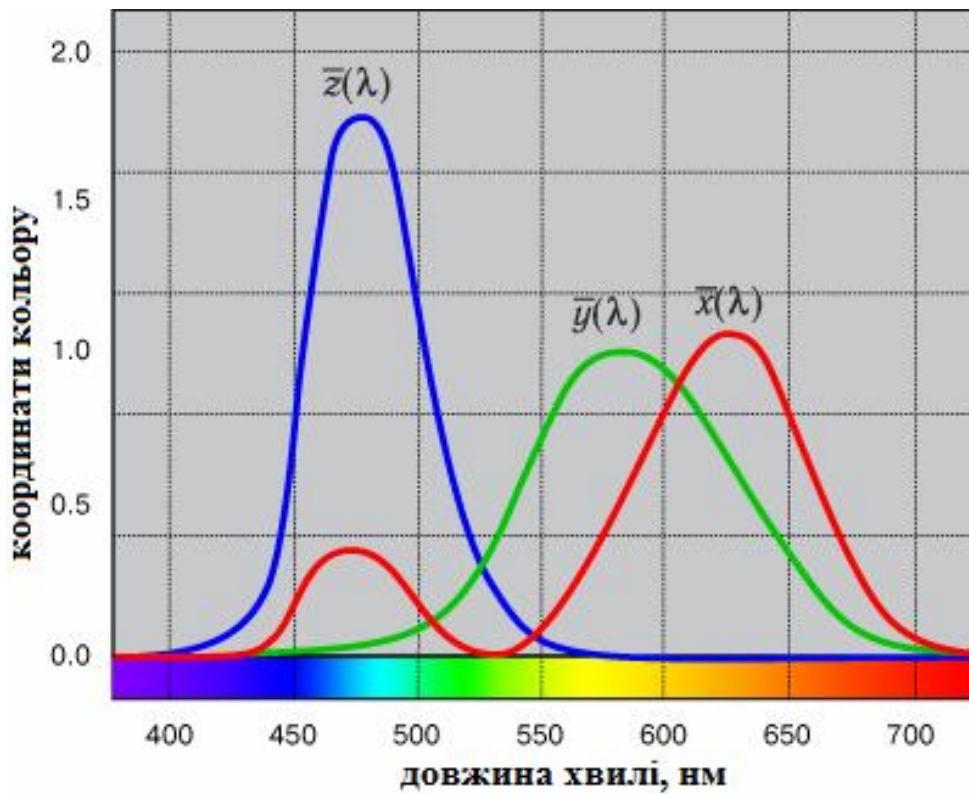


Рис. 4. Криві накладання кольорів $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ для стандартного колориметричного спостерігача МКО 1931.

Незважаючи на те, що система МКО 1931 була офіційно визнана в усьому світі, у неї є ряд недоліків. Так, наприклад, у діапазонах довжин хвиль від 380 до 460 нм значення функцій додавання кольорів занадто малі. У зв'язку з цим МКО прийняла рішення повторити досліди по знаходженню кривих накладання. Нові криві накладання були знайдені на основі чисельних дослідів, виконаних Стайлсом, Берчем і Сперанською у 1964 р. Всі вони використовували методику, аналогічну до тієї, яка використовувалася Райтом і Гілдом, з тією лише різницею, що кут поля зору під час урівнювання кольорів дорівнював не 2°, а 10°, що відповідає сприйняттю колірних полів більшого розміру, ніж у попередніх експериментах. Отримані ними криві накладання були названі *кривими накладання додаткового стандартного колориметричного спостерігача*.

Нові дані добре корелювали зі старими, і тому МКО прийняла рішення рекомендувати до використання обидві системи кривих накладання. Зазвичай у колориметричних розрахунках використовуються криві накладання для стандартного колориметричного спостерігача МКО 1931 р., коли оцінюються невеликі за розміром зразки кольору, що приблизно відповідає куту поля зору 2°, і криві накладання для додаткового стандартного колориметричного спостерігача 1964 р., коли оцінюються великі за розміром колірні зразки.

Одним із суттєвих недоліків колірного простору XYZ МКО є та обставина, що однаковим змінам координат кольору не відповідають рівнозначні зміни колірних відчуттів. Інакше кажучи, різниця між двома кольорами, що знаходяться в одній ділянці графіка, не так відчутна, як точно така ж різниця між двома сусідніми кольорами, які перебувають в іншій ділянці графіка. Тому, в 1976 р. МКО на основі додаткових експериментів був запропонований удосконалений рівноконтрастний колірний простір CIE L*a*b* [4] (або спрощено CIELab), який виводять з колірного CIE 1931 XYZ простору [5].

III. Система колірного простору CIE L*a*b*

1. На даний час колірна система CIE L*a*b* є загально визнаною і застосовується у всьому світі. Вона має велику перевагу в порівнянні із системами, які застосовувалися раніше. У цій системі геометрично рівні відстані у всіх ділянках спектру приблизно відповідають відмінностям, які візуально сприймаються людиною. Тому, дана система практично є системою, що відображає сприйняття кольорів людським оком. Метою даної моделі є одержання колірного простору, який є більш лінійним для сприйняття (зміна значення кольору повинна бути близькою до візуального значення) та давати точні результати, на відміну від, наприклад, RGB або СМУК, що не точно визначають колір [6].

Добре збалансована структура колірного простору L*a*b* заснована на тій теорії, що колір не може бути одночасно зеленим і червоним або жовтим і синім. Отже, для опису червоно-зеленого і жовто-синього компонентів можна скористатися одними й тими ж значеннями. Коли колір представляється в CIE L*a*b*, величина L* позначає яскравість (luminosity), a* – величина червоно-зеленої складової, b* – величина жовто-синьої складової (табл. 2, рис. 5). При a* = 0 і b* = 0 колір сприймається сірим, білим або чорним, в залежності від значення L* [7].

2. Червоно-зелений компонент кольору a* визначається у відповідності з математичною функцією:

$$a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_0} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{1/3} \right]. \quad (12)$$

3. Жовто-синій компонент кольору b* визначається у відповідності з математичною функцією:

$$b^* = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_0} \right)^{1/3} \right]. \quad (13)$$

4. Яскравість L* – центральна вісь колірного простору, перпендикулярна до площини графіка кольоровості і яка проходить через точку перетину осей a* і b* (рис. 5). Вона є рівноконтрастною шкалою ахроматичних кольорів, для якої значення a* і b* дорівнюють нулю. Змінюється від 0 до 100, тобто від найтемнішого до найсвітлішого. Даний параметр обчислюється за формулою:

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{1/3} - 16, \quad (14)$$

де X₀, Y₀, Z₀ – колірні координати випромінювача білого світла, і 1 < Y < 100 (для випромінювача D65: X₀ = 98,04, Y₀ = 100,00, Z₀ = 118,10) [1, 8].

Колориметричні (або хроматичні) координати в колірній системі CIE L*a*b*

Колориметричні координати	Символ	Одиниця вимірювання	Інтервал
Яскравість	L*	–	0 – 100 0 чорний 100 безбарвний
Червоно-зелена колірна складова	a*	–	> 0 червоний < 0 зелений
Жовто-синя колірна складова	b*	–	> 0 жовтий < 0 синій
Насиченість	C _{ab} *	–	
Колірний тон	h _{ab} [°]	градус	0 – 360°

Для малих значень L*, a*, b* у формулах (15)-(17) потрібно вводити поправки:
якщо X/X₀ ≤ ε, то

$$\left(\frac{X}{X_0}\right)^{\frac{1}{3}} = \left[k \left(\frac{X}{X_0}\right) + 16 \right] / 116; \quad (15)$$

якщо Y/Y₀ ≤ ε, то

$$\left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{\frac{1}{3}} = \left[k \left(\frac{Y}{Y_0}\right) + 16 \right] / 116; \quad (16)$$

якщо Z/Z₀ ≤ ε, то

$$\left(\frac{Z}{Z_0}\right)^{\frac{1}{3}} = \left[k \left(\frac{Z}{Z_0}\right) + 16 \right] / 116, \quad (17)$$

де ε = 216/24389 і k = 24389/27.

Для зручності використання була також запропонована модифікація моделі CIE L*a*b* шляхом трансформації координат колірності із прямокутних у полярні координати колірного тону H і насиченості C (позначаються h_{ab}[°] і C_{ab}*).

5. Колірний тон h_{ab}[°] (у значеннях кута від 0 до 360° – це параметр, що визначає напрямок вектора колірності, початок якого лежить в точці перетину координатних осей. Тон визначає відношення даного кольору до певної колірної групи. Колірний тон розраховують за формулою:

$$h_{ab}^{\circ} = \tan^{-1} \left[\frac{b^*}{a^*} \right]. \quad (18)$$

6. Насиченість (інтенсивність) C_{ab}*. Значення цього параметра змінюються від центральної осі сфери до її країв. Від центру насиченість кольору зростає і стає максимальною на краях сфери. Значення насиченості кольору на краю сфери 100%. Це так звані спектральні кольори. Чим ближче колір до краю сфери, тим він насичений. Насиченість розраховують за формулою:

$$C_{ab}^* = \left[(a^*)^2 + (b^*)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (19)$$

7. Нові координати h_{ab}[°] і C_{ab}* фактично є корелятами психофізичних характеристик кольору у вигляді колірного тону та насиченості. На графіку, так само як колірний тон і насиченість, координата h_{ab}[°] визначається кутом, а координата C_{ab}* – радіусом відносно центру координат, яким є вісь L* (рис. 6) [1].

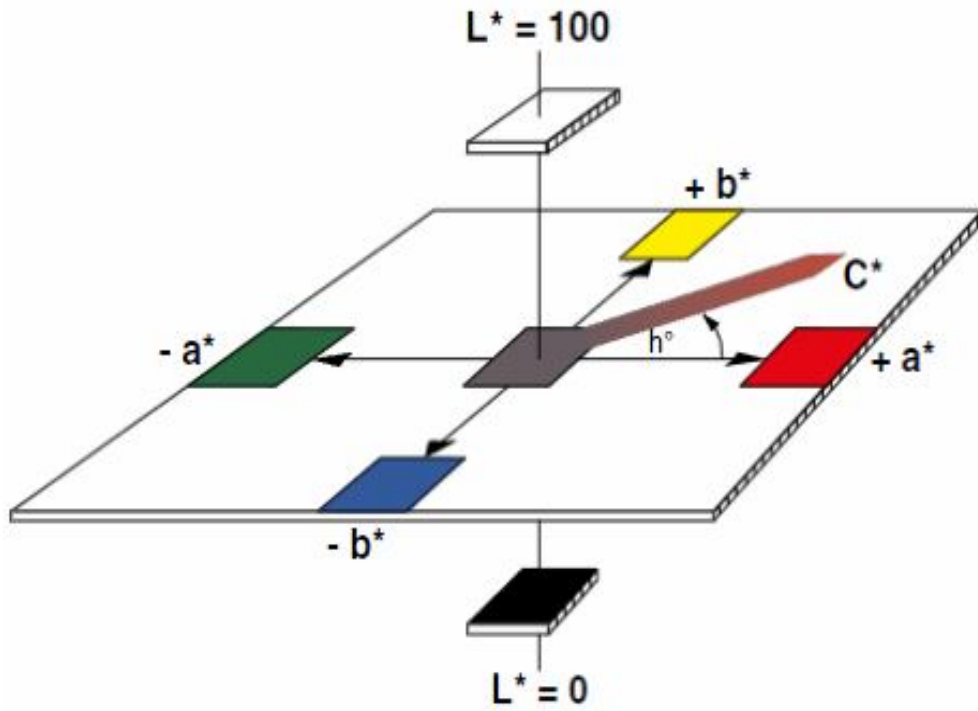


Рис. 5. Модель CIE $L^*a^*b^*$: L^* – міра яскравості ($L^*=100$ – білий та $L^*=0$ – чорний), $-a^*$ – зелений колір, $+a^*$ – червоний колір, $-b^*$ – синій колір, $+b^*$ – жовтий колір.

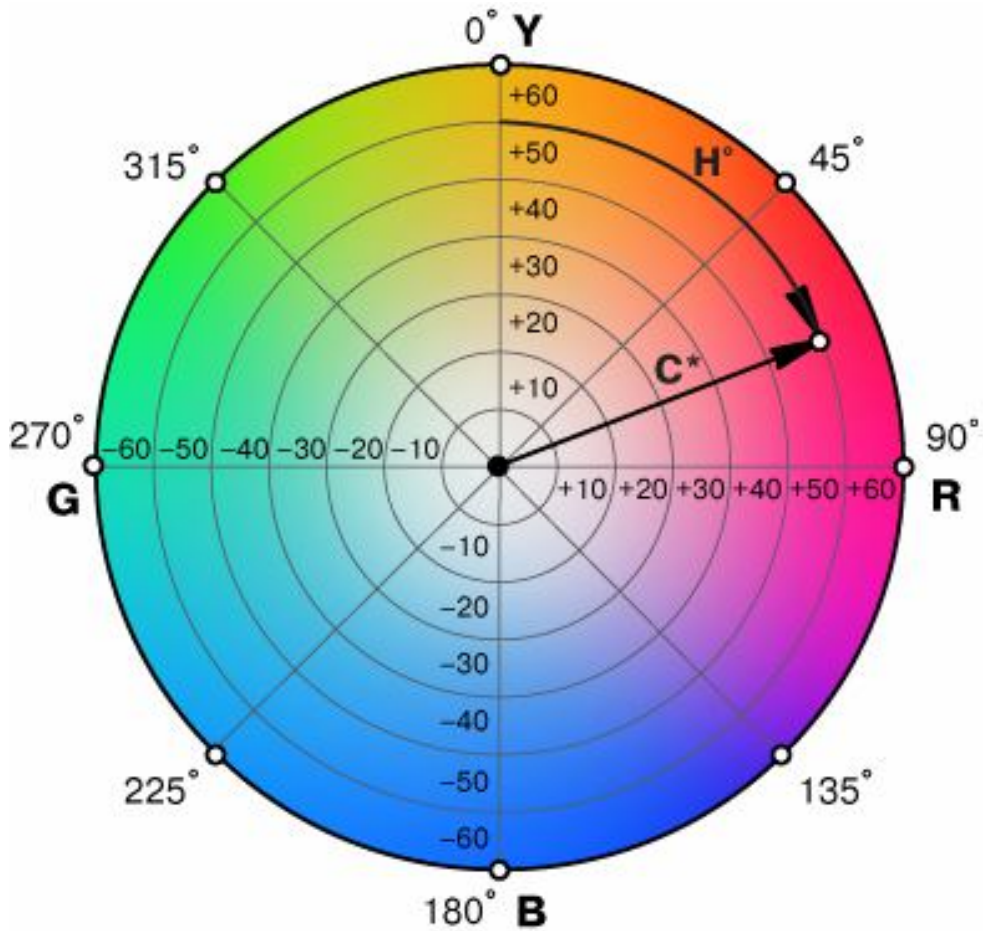


Рис. 6. Графік колірного простору CIE $L^*a^*b^*$ у полярних координатах C^*H^* (6).

IV. Розрахунок малих колірних відмінностей у системі CIE L*a*b*

1. Розрахунки колірної відмінності ΔE – це спосіб визначення колірних відмінностей між двома близькими кольорами. Якщо порівнюються два кольори, необхідно спочатку знайти відповідні їм точки в рівномірному колірному просторі CIE L*a*b*, а потім розрахувати відстань між ними, яка за визначенням цілком співвідноситься з колірним розходженням, що сприймається людиною-спостерігачем.

2. Відмінності за яскравістю між досліджуваним зразком та зразком порівняння ΔL^* розраховують за формулою:

$$\Delta L^* = L_{зр}^* - L_{пор}^* , \quad (20)$$

де $L_{зр}^*$ – досліджуваний зразок, $L_{пор}^*$ - зразок порівняння.

3. Відмінності за хроматичними параметрами розраховують за формулами:

$$\Delta a^* = a_{зр}^* - a_{пор}^* ; \quad (21)$$

$$\Delta b^* = b_{зр}^* - b_{пор}^* . \quad (22)$$

4. Колірна відмінність ΔE визначається як відстань між трьома параметрами в евклідовому просторі за формулою:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} . \quad (23)$$

5. Відмінності за насиченістю ΔC^* між досліджуваним зразком та зразком порівняння розраховують за формулою:

$$\Delta C^* = C_{зр}^* - C_{пор}^* . \quad (24)$$

6. Відмінності за колірним тоном ΔH між досліджуваним зразком та зразком порівняння розраховують за формулою:

$$\Delta H_{ab}^* = \text{sgn}(\Delta h) \sqrt{(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2} , \quad (25)$$

де $\text{sgn}(\Delta h)$ – функція сигнатури, яка має значення +1 за $(\Delta h) > 0$ і -1 за $(\Delta h) < 0$:

$$(\Delta h)^* = h_2^* - h_1^* . \quad (26)$$

V. Перехід між колірними координатними системами XYZ та RGB

1. Досить часто виникає необхідність переходу між кольорами RGB та кольорами системи CIE L*a*b* [1]. Перехід проводять через координати X, Y, Z таким чином:

$$X = X_R R + X_G G + X_B B ; \quad (27)$$

$$Y = Y_R R + Y_G G + Y_B B ; \quad (28)$$

$$Z = Z_R R + Z_G G + Z_B B , \quad (29)$$

де $X_R, Y_R, Z_R, X_G, Y_G, Z_G, X_B, Y_B, Z_B$ – координати вихідних кольорів RGB.

У матричній формі:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_R & X_G & X_B \\ Y_R & Y_G & Y_B \\ Z_R & Z_G & Z_B \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} . \quad (30)$$

2. Зворотнє перетворення записується у вигляді:

$$R = \frac{Y_G Z_B - Y_B Z_G}{\Delta} X + \frac{X_B Z_G - X_G Z_B}{\Delta} Y + \frac{X_G Y_B - X_B Y_G}{\Delta} Z ; \quad (31)$$

$$G = \frac{Y_B Z_R - Y_R Z_B}{\Delta} X + \frac{X_R Z_B - X_B Z_R}{\Delta} Y + \frac{X_B Y_R - X_R Y_B}{\Delta} Z; \quad (32)$$

$$B = \frac{Y_R Z_G - Y_G Z_R}{\Delta} X + \frac{X_G Z_R - X_R Z_G}{\Delta} Y + \frac{X_R Y_G - X_G Y_R}{\Delta} Z, \quad (33)$$

де $\Delta = X_R(Y_G Z_B - Y_B Z_G) + X_G(Y_B Z_R - Y_R Z_B) + X_B(Y_R Z_G - Y_G Z_R)$, або в матричній формі:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_R & X_G & X_B \\ Y_R & Y_G & Y_B \\ Z_R & Z_G & Z_B \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}. \quad (34)$$

Висновки

1. Перевагою колірної моделі CIE L*a*b*, яка визначила її широке використання в колориметрії і промисловості, стало те, що її система ефективно розв'язала проблему представлення величини колірних відмінностей, а також те, що опис кольору в цій системі фактично моделює процес адекватного сприйняття кольору апаратом людського зору.

2. Система CIE L*a*b*, будучи більш рівноконтрасною, дозволяє характеризувати повні колірні відмінності, а також відмінності за світлом, чистотою кольору і колірному тону, більш близько до візуального спостереження.

3. Колірний простір CIE L*a*b* служить міжнародним стандартом фізичного методу дослідження кольору. Основною перевагою цієї системи кольорного простору є незалежність як від пристроїв відтворення кольору, так і від пристроїв введення і виведення інформації, а отже, можливість застосування для контролю якості різноманітних виробів та зразків.

Література

1. М.В. Домасев, С.П. Гнатюк, Цвет, управление цветом, цветовые расчеты и измерения (Питер, Санкт-Петербург, 2009).
2. F.W. Billmeyer, Jr. M. Saltzman, Principles of Color Technology (New York, 1981).
3. G.Sharma, Digital Color Imaging Handbook (CRC Press, New York, 2003).
4. В.Е. Шевченко, Новітні медіа та комунікаційні технології. Термінологічний словник (Паливода А.В., Київ, 2012).
5. М.Л. Дмитрук, С.З. Малинич, І.Є. Мороз, Журнал нано- та електронної фізики, 5(3), 31(2013).
6. К. McLaren, The Colour Science of Dyes and Pigments (Adam Hilger, Bristol, 1983).
7. Р. Мак-Дональд, Цвет в промышленности (Логос, Москва, 2003).
8. ГОСТ 16872–1978. Пигменты неорганические. Методы определения относительной красящей способности (или эквивалентной красящей способности) и цвета в разбеле цветных пигментов. – Введ. 1980 – 01 – 01. – (Госстандарт России: Изд-во стандартов, Москва, 2007).

Татарчук Тетяна Романівна – кандидат хімічних наук, доцент, член-кореспондент Академії технологічних наук України, доцент кафедри неорганічної та фізичної хімії.

Сіренко Геннадій Олександрович – доктор технічних наук, професор, академік Академії технологічних наук України, завідувач кафедри неорганічної та фізичної хімії.

Старко Ірина Юрійвна – студентка IV курсу кафедри неорганічної та фізичної хімії.