

## КІЛЬКІСНИЙ АНАЛІЗ КОЛЬОРОВІДТВОРЕННЯ НА ФОТОФОРМАХ

Контроль якості кольороподільних фотоформ в умовах виробництва здійснюють шляхом визначення оптичних щільностей на трьох полях ахроматичної контрольної шкали (наприклад, шкала «Кодак А, М, В»), які використовують для обчислення тонових коефіцієнтів, що визначають градаційні характеристики. У зв'язку з відсутністю контролю кольороподільних характеристик цей спосіб не повністю описує фотоформи.

Наша робота присвячена кількісному визначенню кольороподілу за кольороподільними характеристиками фотоформ. Вихідні дані — ефективні щільності кольорових полів шкали, що складається із жовтої, пурпурної, голубої, синьої, зеленої, червоної і умовно-сірої плашок, а також ахроматичного клина, які фотографують разом з оригіналом.

Для якісного визначення кольороподільних характеристик в процесі відтворення кольорового діалозитива найбільш вигідно використовувати методику, яка базується на взаємозв'язку між ефективною щільністю і поверхневою концентрацією барвника оригіналу [1, 2], що виражається рівнянням

$$D_{ij} = \delta_{ij} C_j, \quad (1)$$

де  $D_{ij}$  — ефективна щільність  $j$ -го барвника відносно  $i$ -го світлочутливого приймача;  $C_j$  — поверхнева концентрація барвника;  $\delta_{ij}$  — кутовий коефіцієнт ліній ефективних щільностей;  $j = 1, 2, 3$  — жовтий, пурпурний, голубий барвники оригіналу;  $i = 1, 2, 3$  — синій, зелений, червоний приймачі (кольороподільний світлофільтр і панхроматична фотоплівка).

Значення кутового коефіцієнта ліній ефективних щільностей, яке характеризує приріст ефективної щільності на одиницю поверхневої концентрації барвника, називається питомою ефективною щільністю  $j$ -го барвника у відношенні  $i$ -го світлочутливого приймача.

Ефективну щільність будь-якого кольору, утвореного сумішшю барвників, що підпорядковуються правилу адитивності, можна виразити лінійним рівнянням

$$D_i = \delta_{i1} C_1 + \delta_{i2} C_2 + \delta_{i3} C_3. \quad (2)$$

Проте для більшості барвників лінійна залежність не зберігається або зберігається частково на певному інтервалі, що зумовлює зміни кута нахилу і навіть викривлення ліній ефективних щільностей. Точніше, визначають ефективну щільність довільного кольору за допомогою рівняння [1]:

$$D_i = \delta_{i1} C_1 + \delta_{i2} C_2 + \delta_{i3} C_3 + \sigma_{i1} C_2 C_3 + \sigma_{i2} C_1 C_3 + \sigma_{i3} C_1 C_2 + \sigma_{ii+3} C_i^2, \quad (3)$$

де  $\delta_{ij}$  — кутові коефіцієнти, які характеризують лінійну залежність;  $\sigma_{ij}$  — коефіцієнти, що характеризують зміну кута нахилу ліній ефективних щільностей;  $C_1, C_2, C_3$  — поверхневі концентрації барвників (1, 2, 3 — жовтого, пурпурного, голубого);  $C_i^2$  — поверхнева концентрація основного барвника, який формує дане кольороподільне зображення.

Наявність у рівнянні (3) характеристик, враховуючих зміну кута нахилу ліній ефективних щільностей у вигляді парних добутоків концентрацій барвників однофарбових складових, і введення квадрата поверхневої концентрації барвника дають досить високу точність у вираженні взаємозв'язку між ефективними щільностями та поверхневими концентраціями оригіналу.

Оскільки жодним із способів фотомеханічного маскування (за винятком компенсативного) не можна здійснити нелінійну коректуру кольороподільних зображень, цілком достатня лінійна апроксимація ліній ефективних щільностей. Ця умова дає змогу виразити кольороподільні властивості системи у першому наближенні трьома лінійними рівняннями:

$$\begin{aligned} D_c &= \delta_c^{\text{ж}} C^{\text{ж}} + \delta_c^{\text{п}} C^{\text{п}} + \delta_c^{\text{г}} C^{\text{г}}, \\ D_3 &= \delta_3^{\text{ж}} C^{\text{ж}} + \delta_3^{\text{п}} C^{\text{п}} + \delta_3^{\text{г}} C^{\text{г}}, \\ D_4 &= \delta_4^{\text{ж}} C^{\text{ж}} + \delta_4^{\text{п}} C^{\text{п}} + \delta_4^{\text{г}} C^{\text{г}}. \end{aligned} \quad (4)$$

Кольороподільні властивості системи, що виражаються сукупністю дев'яти величин питомих ефективних щільностей, можна записати у вигляді матриці кольороподільних характеристик

$$(\delta) = \begin{pmatrix} \delta_c^{\text{ж}} & \delta_c^{\text{п}} & \delta_c^{\text{г}} \\ \delta_3^{\text{ж}} & \delta_3^{\text{п}} & \delta_3^{\text{г}} \\ \delta_4^{\text{ж}} & \delta_4^{\text{п}} & \delta_4^{\text{г}} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

По рядках матриці записані ефективні щільності трьох барвників оригіналу відносно одного з приймачів (світлофільтр і фотоматеріал, на якому проводиться кольороподіл), а по стовпцях — питомі ефективні щільності одного з барвників відносно трьох приймачів. Діагональні члени матриці характеризують виділені кольори, решта — невиділені.

При ідеальному кольороподілі чи досконалому маскуванні кольороподільні характеристики є одиничною матрицею

$$(E) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

В реальних умовах кольороподільні характеристики — це матриця, у якій діагональні члени менші за одиницю, а не діагональні більші від нуля.

Рівень кольороподілу на фотоформах визначається значенням детермінанта матриці кольороподільних характеристик, які можна записати

$$d = \delta_c^j \delta_3^n \delta_4^r + \delta_c^n \delta_3^r \delta_4^j + \delta_c^r \delta_3^j \delta_4^n - \delta_c^r \delta_3^n \delta_4^j - \delta_c^n \delta_3^j \delta_4^r - \delta_c^j \delta_3^r \delta_4^n. \quad (7)$$

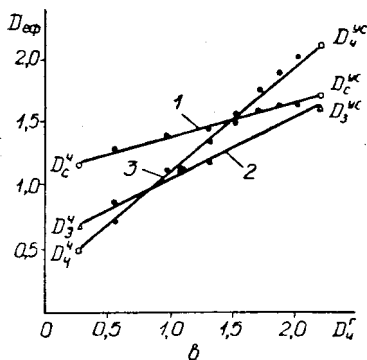
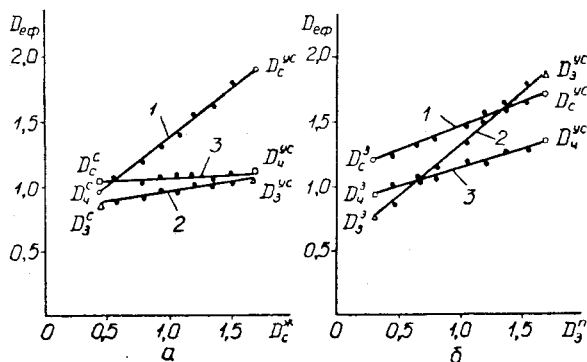
Чим більше детермінант наближається до одиниці, тобто до детермінанта одиничної матриці, тим вища якість кольороподілу. Для вираження рівня кольороподілу в процентах необхідно детермінант помножити на 100.

Питомі ефективні щільності визначають експериментально внаслідок кольороподільних до випробувань модельного оригіналу. Модельним оригіналом є кольоровий діапозитив, виготовлений шляхом фотографування кольорових шкал на кольорову плівку, наприклад, ORWOCHROM, на якій в основному виготовляють видавничі оригінали. Кольорові шкали повинні бути віддруковані тріадою фарб, яку використовують при друкуванні тиражу. Ця умова дає змогу визначити кольороподільне спотворення, яке виникає внаслідок паразитичного поглинання барвників оригіналу та друкарських фарб.

Модельний оригінал складається з шести кольорових шкал і однієї ахроматичної. Ахроматичну шкалу виготовляють на чорно-білій плівці, вона призначена для градаційного контролю. Перші три кольорові шкали — це клини жовтого, пурпурного, голубого кольорів, за допомогою яких визначають поверхневі концентрації барвників оригіналу. Три інші кольорові шкали складаються із клинів жовтого, пурпурного, голубого кольорів, на кожному з них є рівномірна максимальна кількість двох інших кольорів. Ці шкали призначені для визначення ефективних щільностей. Одні однофарбові клини для кольороподільних досліджень непридатні, оскільки на реальних кольорових оригіналах немає ділянок, де був би присутній лише один барвник. Крім того, при фотографуванні однофарбових клинів відбувається перетримка на невиділених кольорах, що може знизити точність результатів [3].

На кольороподільних негативах, одержаних з модельного оригіналу чи з оригіналу, сумішеного з маскою, вимірюють оптичні щільності за ахроматичною і кольоровою шкалами. На основі вимірів будують криві відтворення ахроматичної шкали кожного кольороподільного негатива і за ними знаходять ефективні — щільності кольорових полів, утворених сумішшю трьох барвників.

Для цього з точки на осі ординат, яка відповідає оптичній щільності кольорової ділянки на негативі, проводять лінію, паралельну осі абсцис, до перетину з кривою відтворення, а потім з точки перетину опускають перпендикуляр на вісь абсцис. Оптична щільність на осі абсцис в точці перетину перпендикуляру є ефективною щільністю. При побудові кривих відтворення маскованих негативів по осі абсцис відкладають суми оптичних щільностей оригіналу та маски.



Лінії ефективних щільностей жовтого (а), пурпурного (б), голубого (в) барвників оригіналу на синьофільтровому (1), зеленофільтровому (2) та червонофільтровому (3) кольороподільних немаскованих негативах.

Для побудови графіків ефективних щільностей на осі абсцис відкладають монохроматичні щільності барвника або щільності, виміряні за вузькозональними світлофільтрами, а на осі ординат — ефективні щільності, одержані на синьофільтровому, зеленофільтровому та червонофільтровому кольороподільних негативах на шкалі, утвореній змінною кількістю того ж барвника і постійною кількістю двох інших. Таким чином, на трьох графіках знаходяться по три лінії ефективних щільностей (див. рисунок).

Тангенси кутів нахилу ліній ефективних щільностей — це питомі ефективні щільності, тобто кольороподільні характеристики.

Оскільки будь-яка пряма на площині характеризується координатами двох точок, через які вона проходить, то при лінійній апроксимації ліній ефективних щільностей для побудови графіків досить мати мінімальне та максимальне значення ефективних

щільностей, які визначаються на полях модельного оригіналу відповідно до мінімальної та максимальної кількості даного барвника. Мінімальне значення жовтого барвника знаходиться на полі синього кольору, пурпурного — на полі зеленого кольору та голубого — на полі червоного кольору. Максимальне значення кожного барвника знаходиться на полі умовно-сірого кольору.

Зі сказаного випливає, що для кольороподільних досліджень достатнім є модельний оригінал, який складається з жовтої, пурпурної, голубої, синьої, зеленої, червоної, білої і умовно-сірої плашок, а також ахроматичного клина. У цьому випадку для побудови графіків кольороподільних характеристик на осі абсцис відкладають мінімальне і максимальне значення поверхневої концентрації барвника. Оптичні щільності білого відповідають мінімальній кількості барвника, а оптичні щільності жовтої, пурпурної, голубої плашок, виміряні за вузькозональними світлофільтрами, відповідно синім, зеленим і червоним — максимальним кількостям цих барвників. На осях ординат відкладаються ефективні щільності синього, зеленого, червоного, умовно-сірого кольорів на синьо-фільтровому, зеленофільтровому і червонофільтровому кольороподільних негативах.

У зв'язку з тим що тангенс кута нахилу ліній ефективних щільностей визначається відношенням ординати до абсциси, у виробничих умовах питомі ефективні щільності вигідніше знаходити експресним методом за формулами

$$\begin{aligned} \delta_{\text{с}}^{\text{ж}} &= \frac{D_{\text{с}}^{\text{ус}} - D_{\text{с}}^{\text{с}}}{D_{\text{с}}^{\text{ж}} - D_{\text{с}}^{\text{с}}}; & \delta_{\text{с}}^{\text{п}} &= \frac{D_{\text{с}}^{\text{ус}} - D_{\text{с}}^{\text{з}}}{D_{\text{с}}^{\text{п}} - D_{\text{с}}^{\text{з}}}; & \delta_{\text{с}}^{\text{г}} &= \frac{D_{\text{с}}^{\text{ус}} - D_{\text{с}}^{\text{ч}}}{D_{\text{с}}^{\text{г}} - D_{\text{с}}^{\text{ч}}}, \\ \delta_{\text{з}}^{\text{ж}} &= \frac{D_{\text{з}}^{\text{ус}} - D_{\text{з}}^{\text{с}}}{D_{\text{з}}^{\text{ж}} - D_{\text{з}}^{\text{б}}}; & \delta_{\text{з}}^{\text{п}} &= \frac{D_{\text{з}}^{\text{ус}} - D_{\text{з}}^{\text{з}}}{D_{\text{з}}^{\text{п}} - D_{\text{з}}^{\text{з}}}; & \delta_{\text{з}}^{\text{г}} &= \frac{D_{\text{з}}^{\text{ус}} - D_{\text{з}}^{\text{ч}}}{D_{\text{з}}^{\text{г}} - D_{\text{з}}^{\text{ч}}}, \\ \delta_{\text{ч}}^{\text{ж}} &= \frac{D_{\text{ч}}^{\text{ус}} - D_{\text{ч}}^{\text{с}}}{D_{\text{ч}}^{\text{ж}} - D_{\text{ч}}^{\text{б}}}; & \delta_{\text{ч}}^{\text{п}} &= \frac{D_{\text{ч}}^{\text{ус}} - D_{\text{ч}}^{\text{з}}}{D_{\text{ч}}^{\text{п}} - D_{\text{ч}}^{\text{з}}}; & \delta_{\text{ч}}^{\text{г}} &= \frac{D_{\text{ч}}^{\text{ус}} - D_{\text{ч}}^{\text{ч}}}{D_{\text{ч}}^{\text{г}} - D_{\text{ч}}^{\text{ч}}}, \end{aligned} \quad (8)$$

де у чисельниках ефективні щільності кольорових полів кольороподільних негативів, а в знаменниках — оптичні щільності, виміряні на контрольній шкалі оригіналу. Нижні індекси означають світлофільтри, за якими проводиться кольороподілення чи вимірювання оптичних щільностей (ч — червоний, з — зелений, с — синій). Верхні індекси означають кольори модельного оригіналу (ж — жовтий, п — пурпурний, г — голубий, з — зелений, ч — червоний, с — синій, б — білий, ус. — умовно-сірий).

Виразження кольороподільних характеристик через питомі ефективні щільності дає змогу здійснити об'єктивну оцінку якості кольороподілу на фотоформах незалежно від різної насиченості контрольної шкали і кольорового діапозитива. Необхідною і достатньою умовою є відповідність спектральних характеристик барвників плівок, на яких виготовлена як контрольна шкала, так і оригінал, призначений для репродукції.

**Список литературы:** 1. *Артюшин Л. Ф.* Основы воспроизведения цвета в фотографии, кино и полиграфии. — М.: Искусство, 1970. 2. *Нюберг Н. Д.* Искажения цветопередачи и их связь с сенситометрическими характеристиками цветофотографических процессов. — Успехи научной фотографии, 1954, вып. 2. 3. *Семенова Н. Ф.* Цветоделительные испытания многослойных цветофотографических материалов. — Техника кино и телевидения, 1957, № 10.

Author examines the problem of quantitative estimation of the level of the colourseparation according the separation characteristics of the photoplates. Effective densities of the colour fields of the control scale represent the initial datas for determination of separation characteristics. Colourseparation characteristics represent the matrix of the specific effective densities.

Specific effective densities are defined graphically or by the way of calculation.

Стаття надійшла в редколегію 27. 01. 81

---