

*О.М. Козаков<sup>1</sup>, О.О. Карташева<sup>2</sup>, П.В. Полянський<sup>1</sup>, Х.В. Фельде<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

<sup>2</sup>Московський державний університет друку імені Фвана Федорова

## **ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРАЛЬНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ АЛЬБЕДО ОДНОКРАТНОГО РОЗСІЮВАННЯ БІЛОЇ ФАРБИ НА ОСНОВІ ДВООКИСУ ТИТАНУ**

*Проведено спектральні дослідження одного з оптичних параметрів – альbedo однократного розсіювання - білої фарби в області довжин хвиль 400–700 нм. Показано, що у видимій області довжин хвиль його значення зростає зі зростанням довжини хвилі і змінюється в межах 0, 997÷0,999.*

*Spectral investigations have been made of one of optical parameters, namely albedo for single scattering white paint within the range from 400 to 700 nm. It has been shown that as a wave length grows within visible domain its magnitude grows also from zero to 0.997÷0.999.*

Удосконалення властивостей фарбових матеріалів, зокрема оптичних, є актуальним напрямком хімічної технології [1-3]. У даний час все більша увага приділяється дослідженню диференціальних оптичних характеристик фарбових шарів, які дозволяють більш глибоко зрозуміти закономірності формування їх оптичних властивостей. До їхнього числа можна віднести, наприклад, кутові розподіли відбитого випромінювання, глибинний розподіл поглиненого випромінювання, розподіл поглинутої енергії між пігментом і в'язучим (особливо актуально для фарб УФ-закріплення).

Фарби є типовими світлорозсіюючими середовищами. Такі середовища характеризують рядом оптичних параметрів: показниками поглинання  $\alpha$ , розсіювання  $\sigma$ , послаблення  $\varepsilon = \alpha + \sigma$ , альbedo однократного розсіювання  $\Lambda = \sigma / \varepsilon$ , індикатрисою розсіювання елементарного об'єму  $X(\gamma)$ , де  $\gamma$  - кут розсіювання. Щоб охарактеризувати оптичні параметри шару такого середовища до перелічених треба додати ще один – оптичну товщину шару  $\tau = \varepsilon \cdot h$ , де  $h$  – геометрична товщина шару. Оптичні характеристики шарів (коефіцієнти поглинання, пропускання, відбивання, індикатриса яскравості тощо), що мають однакові значення оптичних параметрів мають бути ідентичними. Це свого роду закон збереження енергії для світлорозсіюючих середовищ. Наприклад, якщо виготовити два шари, один з яких має об'ємну концентрацію розсіюючих частинок  $C$  і геометричну товщину  $H$ , а інший має концентрацію частинок в  $N$  разів меншу але геометричну товщину в  $N$  разів більшу, то оптичні характеристики таких шарів будуть однаковими [4].

У теорії світлорозсіюючих середовищ розроблено достатньо методів оцінки оптичних параметрів. Кожний з них застосовується тільки до середовищ певного класу, наприклад таких, що слабо розсіюють або сильно розсіюють, сильно поглинають або слабо поглинають. В [5] проаналізовані можливості, чутливість і границі застосування ряду методів.

У даній роботі пропонується до розгляду результати використання одного з методів - методу пропускання з напрямленим освітленням зразка - для

дослідження спектральної залежності альbedo однократного розсіювання білої фарби на основі двоокису титану (RAL 9010, Німеччина).

Згідно [5] показник поглинання слабо поглинаючого світлорозсіюючого середовища можна визначити за співвідношенням

$$\alpha = \frac{\Sigma}{4} \cdot \frac{(1 - R_{\infty})^2}{R_{\infty}}, \quad (1)$$

де  $R_{\infty}$  - коефіцієнт дифузного відбивання нескінченно товстого шару середовища,  $\Sigma$  - так називана константа розсіювання. Константу розсіювання можна оцінити також різними методами [5]. У даній роботі використали метод напрямленого освітлення зразка, відповідно до якого  $\Sigma$  можна визначити за співвідношенням

$$\ln\left(\frac{R_{\infty} - R_H}{T_H}\right) = a + b \cdot H, \quad (2)$$

де  $R_H, T_H$  – відповідно коефіцієнти дифузного відбивання та пропускання шару фарби товщини  $H$ ;  $a, b$  – коефіцієнти лінійного рівняння, які визначають за графіком функції  $\ln[(R_{\infty} - R_H) / T_H] = f(H)$ .

Для вимірювання величин  $R_{\infty}, T_H, R_H$  необхідно мати серію зразків з різною товщиною шару фарби  $H$ . Зразки отримували за такою методикою. В якості підкладки брали прозоре скло (підкладки фотоплатівок) розміром 12x12 мм. Фарбу наносили за допомогою аерографа. Для одержання якісної плівки фарбу попередньо розбавляли до необхідної консистенції, що визначалася експериментальним шляхом. Необхідну товщину шару фарби одержували шляхом багаторазового нанесення тонких шарів. Отримані значення товщин значно перевищують реальні, але це не принципово, оскільки за визначенням концентрація пігменту в фарбі не впливає на величину альbedo однократного розсіювання (показник розсіювання і показник послаблення однаково залежать від концентрації). Контроль рівномірності нанесення фарби здійснювали за допомогою денситометра ДП-01. Після проведення вимірювань коефіцієнтів відбивання й пропускання товщину фарбового шару визначали за допомогою оптиметра ИКГ-3. Похибка визначення товщини в діапазоні 0-60 мкм становила 0,2 мкм, а в діапазоні понад 60 мкм - 0,3 мкм. Товщину тонких шарів вимірювали на подвійному мікроскопі МИС-11, похибка визначення товщини – 0,1 мкм.

Вимірювання коефіцієнтів  $R_{\infty}, T_H, R_H$  проводили на фотометричній кулі виконаній у вигляді приставки до спектрофотометра СФ-4 за методикою, описаною в [6]. При вимірюванні коефіцієнтів відбивання під зразки підкладали світлопоглинаючу підкладку (чорна обгортка від фотопаперу,  $R=6\%$ ). Внутрішня поверхня сфери покрита спресованим порошком політетрафторетилену [7], що має у видимій області спектра більш високе відбивання, ніж сірчаноокислий барій, який звичайно застосовується для покриття фотометричних куль. Спектральна залежність коефіцієнта відбивання покриття наведена на рис.1. Для порівняння там же наведена спектральна залежність коефіцієнта відбивання покриття із сірчаноокислого барію.

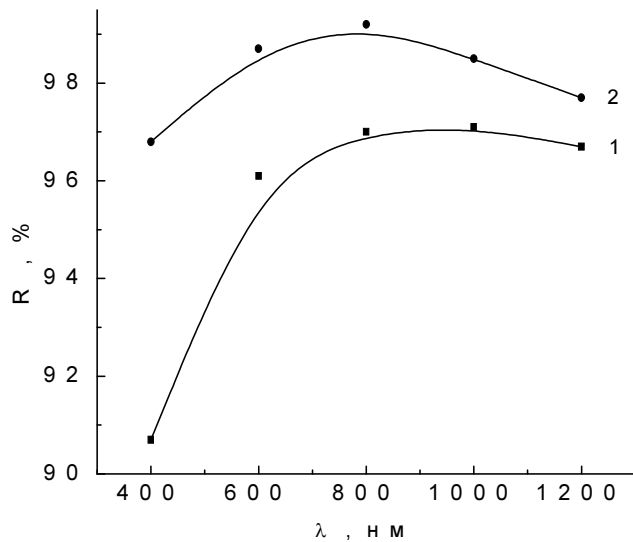


Рис.1. Коефіцієнти відбивання покриттів із сірчаноокислого барію (1) та політетрафторетилена (2) [7].

На рис.2 наведені результати вимірювання коефіцієнтів відбивання зразків фарби. Видно, що шари з  $H > 100$  мкм можна вважати фактично нескінченно товстими. Тому при розрахунках за  $R_{\infty}$  приймали величини, отримані при тестуванні зразка №4.

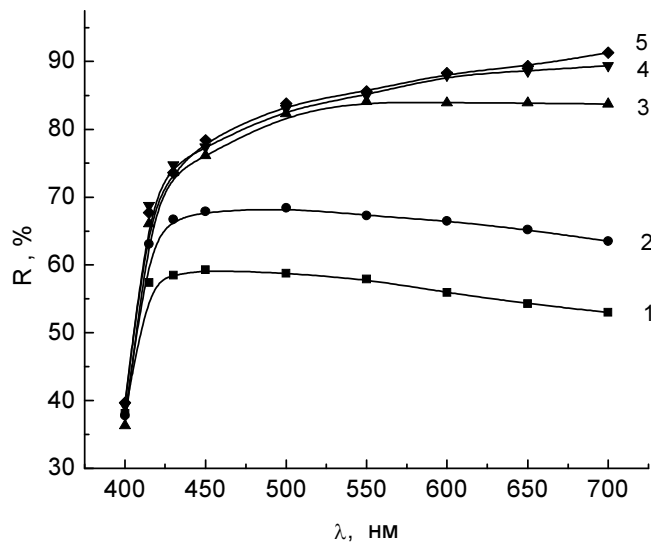


Рис.2. Спектральна залежність коефіцієнта відбивання  $R$ . Товщина шару фарби: 1 -  $H=10$  мкм; 2 - 16 мкм; 3 - 40 мкм; 4 - 79 мкм; 5 - 164 мкм.

Співвідношення (1) і (2) отримані за припущення, що світлорозсіюючі шари перебувають у середовищі з таким же показником заломлення, як у дисперсійної фази, у якій перебувають розсіюючі частинки, тобто шари не мають границь розділу. В'яжучі реальних фарбових шарів мають показник заломлення в межах  $1.4 \div 1.6$ . Тому для коректного використання зазначених співвідношень

перераховували виміряні значення  $R_{\infty}$ ,  $T_H$ ,  $R_H$ . Для цього використали відомі співвідношення Сандерсона та Райда-Купера, відповідно

$$R' = \frac{\rho_1 + (1 - \rho_1)(1 - \rho_2)R}{1 - \rho_2 \cdot R}, \quad (3)$$

$$T' = \frac{(1 - \rho_1)(1 - \rho_2)T}{(1 - \rho_2 \cdot R) - \rho_2^2 \cdot T^2}, \quad (4)$$

де  $T'$ ,  $R'$  - коефіцієнти пропускання й відбивання реального шару (експериментальні);  $T$ ,  $R$  - коефіцієнти пропускання й відбивання шару без границь розділу (теоретичні);  $\rho_1$  - коефіцієнт зовнішнього відбивання від границі шару;  $\rho_2$  - коефіцієнт внутрішнього відбивання від границі шару. Величину  $\rho_2$  оцінювали за кривою залежності  $\rho_2 = f(n)$ , яка наведена в [4], а потім уточнювали шляхом статистичного моделювання розсіювання випромінювання в конкретному шарі товщини  $H$  [8]. При розрахунках вважали, що показник заломлення в'язучого  $n=1,54$  [1]. В [5] показано, що точність розрахунків за формулою (1) істотно падає при  $R < 0,7$ . Тому з урахуванням спектральної залежності коефіцієнта відбивання зразків (рис. 2) величину показника поглинання оцінювали тільки для інтервалу довжин хвиль 425-700 нм. Отримані результати наведені в таблиці.

Довжина хвилі, $\lambda$ , нм	430	450	500	550	600	650	700
Показник поглинання, $\alpha \times 10^4$ , мкм <sup>-1</sup>	10,30	5,32	2,69	2,09	1,54	0,89	0,64

Для оцінки величини альbedo однократного розсіювання необхідно знати величину показника послаблення. Величину показника послаблення фарби визначали базисним методом [4] на спеціально сконструйованій установці з двома довгофокусними коліматорами, використовуючи співвідношення

$$I = I_0 \exp(-\varepsilon \cdot H), \quad (5)$$

де  $I_0$  - інтенсивність колімованого пучка випромінювання, що падає на зразок;  $I$  - інтенсивність колімованого пучка випромінювання, що пройшов зразок. Значення  $\varepsilon$  знаходили з кривої залежності  $\ln(I/I_0) = f(H)$ . Для вимірювань використали тонкі шари фарби. Спектральна залежність альbedo однократного розсіювання наведена на рис.3. Дуже високі значення  $\Lambda$  пояснюються надзвичайно низькими значеннями константи поглинання масивного діоксиду титану - основного компонента фарби [9].

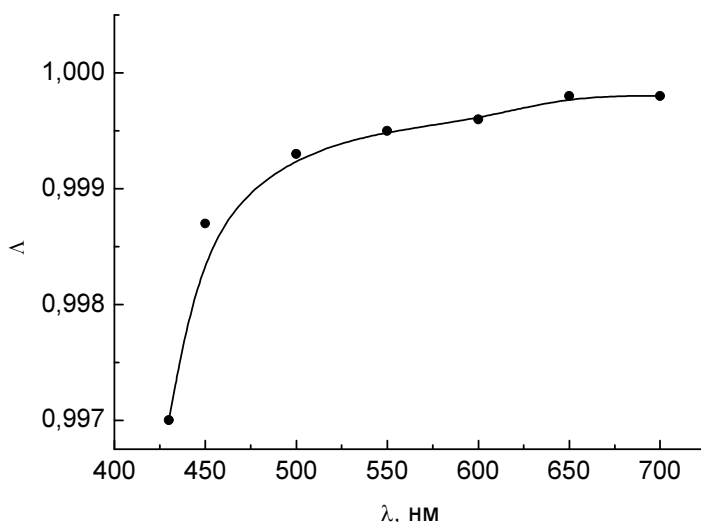


Рис.3. Спектральна залежність альbedo однократного розсіювання білої фарби

Отримані значення альbedo однократного розсіювання можуть бути використані для дослідження та моделювання світлового режиму в шарах друкарських фарб.

1. Гуревич М.М. Оптические свойства лакокрасочных покрытий / М.М.Гуревич, Э.Ф.Ицко, М.М.Середенко. - Л. : Химия, 1984. - 120 с.

2. Лакокрасочные материалы и покрытия. Теория и практика : пер. с англ. / под ред. Р. Ламбурна. - СПб. : Химия, 1991. - 512 с.

3. Джад Д. Цвет в науке и технике: пер. с англ. / Д. Джад ; Г. Вышецки - М. : Мир, 1978. - 592 с.

4. Иванов А.П. Оптика светорассеивающих сред. / А.П.Иванов. – Минск : Наука и техника, 1969. - 592 с.

5. Розенберг Г. В. О методах абсорбционной спектроскопии плоских образцов слабопоглощающих светорассеивающих сред / Г. В. Розенберг, М. Ю. Сахновский, С. Г. Гуминецкий // Оптика и спектроскопия. – 1967. - Т.23, №5. - С. 797-806.

6. Рвачев В.П. Методы оптики светорассеивающих сред / В. П. Рвачев. – Минск : Изд-во БГУ. - 240 с.

7. Гуминецкий С.Г. О методе измерений коэффициента отражения объектов на устройстве в виде спаренных фотометрических шаров / С. Г. Гуминецкий // Оптика и спектроскопия. – 1995. - Т.78, №3. - С. 496-501.

8. Kozakov O. N. Computation of internal reflection of light-scattering layer / O. N. Kozakov, N. L. Kirsh, T. M. Kunetskaya // SPIE Proc. - 2004. – V.477. - P.181-186.

9. Ribarsky M.W. in Handbook of Optical Constants of Solids, ed. E.D.Palik. Academic Press. New York, 1985.