

ПРИЛАДИ

УДК 004.932.4 553.242.62

Є.С. Купкін, к.т.н., доц.
Житомирський інженерно-технологічний інститут**ЦИФРОВА ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ – ШЛЯХ
ДО ВИЗНАЧЕННЯ ЕСТЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ
ДЕКОРАТИВНОГО КАМЕНЮ. КОЛІР**

На основі аналізу різних колориметричних систем показана можливість не тільки визначати числові показники кольору декоративного та облицювального каменю, а й застосовувати їх при прийомі промислової продукції. Початкові дані для розрахунків можуть бути отримані з цифрових файлів, в яких зберігається інформація про зображення. Накреслені напрямки подальших робіт.

Ця стаття з'явилась внаслідок проробки одного з аспектів теорії проф. Грабара І.Г. [6] про те, що властивості зернистих багатокольорових зображень можуть бути визначені через характеристики третьої координати, яка має глибоку автотельну природу.

Призначення декоративного та облицювального каменю, яке визначене в їх найменуванні, вказує на те, що зовнішній вигляд, його естетичні показники є одними з найголовніших характеристик. На підставі аналізу зовнішнього виду рекламних буклетів, фотографій ведеться попередній вибір родовища природного каменю. Далі зазвичай споживач знайомиться зі зразками виробів. Контроль та відбракування за зовнішнім виглядом проводиться й на етапі виробництва. Це обумовило введення естетичних показників, в основному номенклатуру показників якості стінових кам'яних матеріалів, до яких належать і вибори з природного каменю. Перелік цих показників згідно з ДСТУ БВ 27-16-95 [1] наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Найменування критерію показники якості *	Одиниці вимірювання
1.5. Показники якості	
1.5.4. Відхилення показників зовнішнього вигляду (тріщини, сколи ребер та граней, відбитість та притупленість кутів і ребер та ін.)	мм, кількість еталон
1.5.4. Вид лицьових поверхонь	еталон
1.5.5. Колір лицьових поверхонь	еталон
1.5.6. Відхилення показників зовнішнього вигляду оздоблювального покриття (наколи, пузири, пліщини, напливи, хвилястість та ін.)	мм, кількість

*Нумерація та визначення критерію дано в повній відповідності до стандарту України.

Усі ці показники повинні застосовуватись для виробів всіх видів при їх виробництві та розробці нормативних документів. Показники 1.5.4, 1.5.5 та 1.5.6 повинні застосовуватись при сертифікації облицювальної продукції з каменю.

З таблиці видно, що одні з найголовніших показників – вид та колір лицьових поверхонь, визначаються шляхом порівняння з еталонами (узгодженими зразками). Насправді й показники 1.5.6 зазвичай порівнюють зі зразками. Пояснюється це становище, на наш погляд, наступним:

- ◆ невизначеністю виду показників, що можуть дати кількісну оцінку естетичного сприйняття;
- ◆ складністю отримання та розрахунку деяких відомих показників якості, які можуть бути застосовані;
- ◆ значним розкидом зовнішнього вигляду природного каменю.

Необхідно визнати, що подібні проблеми існують у будь-якій галузі, де треба оцінити якість виробів, яка визначається візуальним шляхом. Тому практика застосування еталонів широко розповсюджена. Однак деякі параметри еталонів можна виміряти і зафіксувати їхні значення. Якщо аналогічні виміри провести на зразках продукції, то це призведе до зменшення розбіжностей в порівняльних оцінках.

Показники, що можуть бути запропоновані, повинні відповідати деяким вимогам. Вони повинні мати наукове, технічне та практичне обґрунтування. Під науковим обґрунтуванням розуміється те, що вони зобов'язані базуватися на загальноновизнаних наукових теоріях, положеннях, поданнях. Вони повинні мати достатньо просту апаратну реалізацію з врахуванням особливостей галузі впровадження та повинні пройти практичну перевірку.

Такими показниками, що відповідають принаймні двом першим вимогам, можуть бути характеристики кольору, які визначені та затверджені в колориметрії – науці, де розглядається кількісне визначення кольору. Ці показники знайшли широке застосування в різних галузях науки і техніки. Наприклад, у достатньо близькій галузі з виготовлення фарб, пігментів і т.і. деякі показники кольору використовують при прийманні продукції [2].

Значні успіхи обчислювальної та комп'ютерної техніки, її програмного забезпечення, апаратури вводу/виводу дозволяють по-новому оцінити деякі технічні труднощі. Наприклад, дані про кольорове зображення, яке виводиться на екран дисплея, зберігається форма **RGB**-файла (чи може бути трансформований в нього). Як буде показано далі, визначення кольору за допомогою **RGB**-системи є одним з основних положень колориметрії. Наведені нижче вирази перерахунків не складають ніяких труднощів для запрограмування не тільки для персональних комп'ютерів, а й на приладах на основі мікропроцесорів. В деяких стандартних системах з цифрової обробки зображень (наприклад PhotoShop) подібні перерахунки є їхньою складовою частиною.

Дана робота присвячена розгляду деяких положень колориметрії, на основі яких можуть бути знайдені показники, що визначають колір декоративного каменю.

В колориметрії в основному застосовують трикомпонентні кольорові системи. Вони ґрунтуються на трьохкомпонентній теорії зору. Вважається, що будь-який колір, що сприймається стандартною людиною (спостерігачем), може бути визначений через три базових кольори, які взяті в обумовленій кількості. Це дозволяє:

- ◆ кількісно визначити кожний колір;
- ◆ кількісно визначити різницю в кольорах;
- ◆ проводити розрахунок кольору, що утворений сумішшю світових струмів випромінюючих чи поглинаючих поверхонь.

В загальному вигляді колір **Ц**, що створений сумішшю трьох основних базових кольорів **U**, **V**, **W** визначається кольоровим рівнянням:

$$\mathbf{C} = \mathbf{U} [\mathbf{U}] + \mathbf{V} [\mathbf{V}] + \mathbf{W} [\mathbf{W}], \quad (1)$$

де **[U]**, **[V]**, **[W]** – кількість відповідного основного кольору, що прийнята за одиницю.

Якщо ввести одиничне значення кольору **Ц**, то воно може бути записане у вигляді:

$$m [\mathbf{C}] = \mathbf{U} [\mathbf{U}] + \mathbf{V} [\mathbf{V}] + \mathbf{W} [\mathbf{W}], \quad (2)$$

звідки кольорове рівняння для однієї трихроматичної одиниці кольору **Ц**, що визначена в одиницях базових кольорів (кольоровий модуль) дорівнює:

$$[\mathbf{C}] = \frac{\mathbf{U}}{m} [\mathbf{U}] + \frac{\mathbf{V}}{m} [\mathbf{V}] + \frac{\mathbf{W}}{m} [\mathbf{W}], \quad (3)$$

де $m = \mathbf{U} + \mathbf{V} + \mathbf{W}$ – кількість кольору **Ц**.

Коефіцієнти попереду одиниць основних кольорів мають назву трикольорових (трихроматичних) чи координат кольору в системі **UVW**. Їх записують малими буквами:

$$u = \frac{\mathbf{U}}{m} = \frac{u}{u + v + w}; \quad v = \frac{\mathbf{V}}{m} = \frac{v}{u + v + w}; \quad w = \frac{\mathbf{W}}{m} = \frac{w}{u + v + w}. \quad (4)$$

В 1860 р. Д.Максвелл [3] вибрав як основні базові кольори червоний (**R**), зелений (**G**) і синій (**B**) з довжинами хвиль 630 нм, 528 нм та 467 нм відповідно. В 1931р. міжнародний комітет з освітлення (**МКО**, **CIE – Communication Internationale de l'Eclairage**) затвердив нову систему, яка одержала назву стандартної системи **RGB** (чи системи **RGB**). В ній основні спектральні кольори мають довжину хвиль 700 нм (**R**), 546,1 нм (**G**), 435,1 нм (**B**). За аналогією до виразу (3) з урахуванням (4), для одиничного кольору **[C]** в цій системі, маємо:

$$[\mathbf{C}] = r [\mathbf{R}] + g [\mathbf{G}] + b [\mathbf{B}]. \quad (5)$$

Як одиничні кількості основних кольорів визначені такі їх кількості, що узгоджені з рівностимульним кольором, за який прийнятий рівноенергетичний білий колір. У нього спектральні складові мають однакову енергію, тому:

$$r = g = b = 1/3.$$

Експериментальні дослідження показали, що світлові потоки **F_(R)**, **F_(G)**, **F_(B)** одиничних основних кольорів співвідносяться як:

$$F_{(R)} : F_{(G)} : F_{(B)} = 1 : 4,5907 : 0,0601.$$

На тій же сесії **МКО** в 1931р. була прийнята трихроматична система основних кольорів **XYZ**, котра є похідною від системи **RGB**. Її основні кольори – це абстрактні, а не реальні, кольори. Вони мають координати, що розташовані за межами світлового локуса (крива, що обмежує реальні кольори). Їхні координати наведені в табл. 2. В ній також надані координати основних кольорів **R, G, B** в системі **XYZ**.

Таблиця 2

Колір	<i>r</i>	<i>g</i>	<i>b</i>	Колір	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>
X	1,2750	-0,2778	0,0028	R	0,73463	0,26534	0,00002
Y	-1,7393	2,7673	0,0280	G	0,27375	0,71740	0,00885
Z	-0,7431	0,1409	1,6022	B	0,16658	0,00885	0,82456

Система **XYZ** отримана з **RGB** шляхом лінійних перетворень, тому мають місце взаємно однозначні формули перерахунку [3] як для основних кольорів, так і для їхніх координат:

$$\begin{cases} X = 0,49000R + 0,31000G + 0,20000B \\ Y = 0,17700R + 0,81238G + 0,01063B \\ Z = 0,00002R + 0,01002G + 0,98996B \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} R = 2,36467X - 0,89656Y - 0,46809Z \\ G = -0,51523X + 1,42647Y + 0,08877Z \\ Z = 0,00518X - 0,01442Y + 1,00925Z \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} x = \frac{0,49r + 0,31g + 0,2b}{0,667r + 1,13239g + 1,20058b} \\ y = \frac{0,17698r + 0,81238g + 0,001063b}{0,667r + 1,13239g + 1,20058b} \\ z = \frac{0,00002r + 0,01002g + 0,98996b}{0,667r + 1,13239g + 1,20058b} \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} r = \frac{2,36467x - 0,89656y - 0,46809z}{0,85461x + 0,51548y + 0,62993z} \\ g = \frac{-0,51523x + 1,42647y + 0,08877z}{0,85461x + 0,51548y + 0,62993z} \\ b = \frac{0,00518x - 0,01442y + 1,00925z}{0,85461x + 0,51548y + 0,62993z} \end{cases} \quad (10)$$

На рис. 1 наведена стандартна хроматична діаграма в прямокутній системі координат, на ній також наведений трикутник основних кольорів **RGB**.

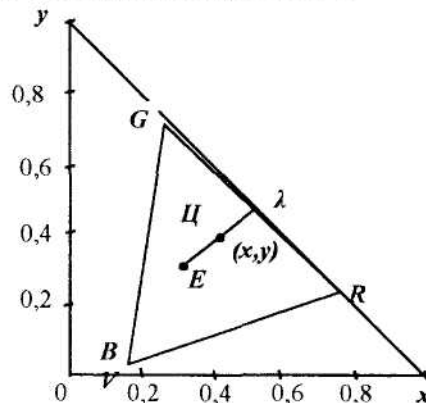


Рис. 1

Однією з задач колориметрії є визначення різниці між кольорами. Для цього вводиться поняття кольорового порогу, під яким розуміється мінімальна різниця в кольорі, що може визначитися “стандартною” людиною (спостерігачем). Якщо Δx і Δy – порогові зміни кольору \mathbf{C}_1 з кольоровими координатами x, y , в результаті яких маємо новий колір \mathbf{C}_2 , то відстань між ними на хроматичній діаграмі становить:

$$\Delta L = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}. \quad (11)$$

Зі зростанням відстані ΔL кольоровий контраст зростає. Якщо її віднести до кольорового порогу, то відстань між точками на діаграмі буде характеризувати кольорову різницю між двома кольорами. На жаль відчуття спостерігача залежить від яскравості об’єктів, а точки на діаграмі xy мають різну якість (вона пропорційна координаті y).

Це призводить до того, що спостерігач сприймає зміни координат xy не за лінійним законом. В різних частинах діаграми кольорова чутливість зору різна. Це визначається властивістю діаграми, а не нашого зору.

Таким чином, хоча відстань між двома точками на хроматичній діаграмі завжди вказує на різницю в кольорі, за значенням цієї відстані не можна визначити кількість кольорових порогів. Мак-Адамом була розроблена рівноконтрастна кольорова діаграма, в якій кольорові пороги в будь-якому напрямку в будь-якій її точці мають однакову довжину. Він запропонував змінити основні кольори X, Y, Z на інші U, V, W , що знаходяться на заставі вирізів:

$$U = 2/3 X; V = Y; W = 1,5 Y - 0,5 X + 0,5 Z. \quad (12)$$

Тоді модуль кольору в новій системі UVW становить:

$$m = U + V + W = 1/6 (X + 15 Y + 3 Z), \quad (13)$$

а хроматичні координати:

$$\begin{aligned} u &= \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} = \frac{2x}{6y - x + 1,5}; \\ v &= \frac{6Y}{X + 15Y + 3Z} = \frac{3y}{6y - x + 1,5}; \\ w &= 1 - (x + y). \end{aligned} \quad (14)$$

Формули для зворотного перетворення:

$$\begin{aligned} x &= \frac{1,5u}{u - 4v + 2}; \\ y &= \frac{v}{u - 4v + 2}; \\ z &= 1 + (x + y). \end{aligned} \quad (15)$$

Кольорова система Мак-Адама в 1960 р. була затверджена МКО. Кольоровий поріг в системі дорівнює 0,0038 одиниць довжини, що визначається за формулою, яка подібна до (11).

Розглянуті кольорові системи найбільш слушні для застосування до об’єктів, що випромінюють світло. Камінь належить до об’єктів, що відбивають зовнішнє випромінювання. Мабуть тому для характеристики його кольору використовують [4] такі показники як насиченість кольорового тону, кольорова перевага, світлість і т.і. Такі терміни також застосовуються в колориметрії. Однак при неповній визначеності їх використання може призвести до неточного трактування. Наприклад, на діаграмі рис. 1 від точки рівноенергетичного світла E проведемо пряму через точку кольору C з координатами xy . Згідно з положеннями колориметрії точка перетину з кольоровим локусом вкаже на довжину хвилі λ монохроматичного світла. Його колір визначить кольорову перевагу (кольоровий тон) світла C . Відношення відрізків EC/EL визначить насиченість кольору – наскільки монохромний колір необхідно “розвести” білим, щоб отримати колір C . Це вказує на те, що нові характеристики можуть бути знайдені на заставі вищевизначених систем. Хоча з наведеного прикладу видно деяке свавілля, яке обумовлено вибором координат білого світла.

Щоб запобігти неоднозначності МКО затвердив координати стандартних джерел білого світла. Вони наведені в табл. 3. В останньому стовпчику вказана кольорова температура абсолютно чорного тіла, при якій воно буде сяяти світлом з координатами, що близькі до вказаних.

При визначенні кольорового тону та насиченості треба вказати при якому стандартному джерелі білого вони були визначені. Різні значення, що будуть отримані при різних джерелах, якоюсь мірою віддзеркалюють той факт, що колір відбиваючих поверхонь залежить від джерела освітлення.

В колориметрії до показників домінуючого кольору та насиченості додають характеристику яскравості чи світлості та отримують трьохкоординатну систему, що дозволяє визначити колір об'єкта.

Таблиця 3

Тип джерела	Кольорові координати			Кольорова температура, °К
	x	Y	z	
A	0,44757	0,40745	0,14498	2848
B	0,34842	0,35161	0,29997	4800
C	0,31006	0,31616	0,37378	6500
E	0,33333	0,33333	0,33333	5700
D (6500 °К)	0,313	0,329	0,358	6500
D (7500 °К)	0,3003	0,3103	0,3894	7500
S	0,25	0,25	0,50	25000
9300 °К+27 МНCD	0,281	0,311	0,408	9300

Кольорові системи, що побудовані на таких показниках, мають позначення у вигляді аббревіатур з перших літер англійських слів: hue (кольоровий тон), saturation (насиченість), intensity (інтенсивність), lightness (світлість), brightness (яскравість) та ін. Наприклад, **HSL** – в ній застосовані показники кольорового тону, насиченості та світлості.

Зазвичай з трьох показників формують циліндричну систему координат з осевою координатою, що визначається яскравістю (світлістю). Приклад спрощеного її перерізу наведений на рис. 2 (вісь яскравості спрямована перпендикулярно до площини листа).

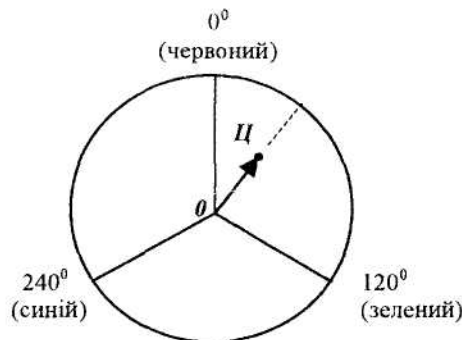


Рис. 2

Колір **Ц** визначається вектором **ОЦ**. Його довжина в площині рисунка у відносних одиницях визначає насиченість кольору. Вважається, що на зовнішньому колі розміщені монохроматичні кольори, тому насиченість на ньому 1 (або 100). У центрі “знаходиться” біле світло (насиченість кольору 0). Кут, під яким виходить вектор відносно вертикальної осі, визначає кольоровий тон. Він може приймати значення від 0° до 360°. Нульовий кут відповідає червоному кольору, 1200 – зеленому, 2400 – синьому, проміжні значення – суміші відповідних кольорів.

Найбільше розповсюдження подібні системи (в різних модифікаціях) набули в кольоровому телебаченні. Причому для спрощення рішення деяких специфічних задач передачі та прийому телевізійних сигналів в них можуть бути внесені зміни. Наприклад, як показано в [5], використання певних формул, за якими ведеться обчислення, призводить до того, що коло деформується в еліпс. У телебаченні приймається, що одиничну насиченість мають не монохроматичні кольори, а кольори, що розташовані на лініях, які з'єднують кольорові координати люмінофорів кінескопу. Тому треба обережно ставитись до використання кольорових систем, що розроблені для рішення спеціальних технічних задач. Хоча знайдені в них рішення чи спрощення після аналізу можуть бути й застосовані.

Необхідно вказати ще на деякі недоліки “світлових” кольорових систем. Вони не дозволяють напряму вирішити задачі визначення кольору суміші кольорів чи світлових потоків. Але найбільш неприємним для нашого аналізу є те, що різниця в отриманих координатах кольору не пов’язана зі сприйняттям їх кольорових відмінностей. Подібне становище було відмічене для систем **RGB** та **XYZ**.

Для відтворення кольорів у поліграфії була розроблена система **CMY**. В ній за основні кольори були прийняті голубий (**Cyan**) пурпурний (**Magenta**) та жовтий (**Yellow**). Причому кольори повинні бути одержані за рахунок світлопоглинаючих об’єктів. Змішування таких основних кольорів повинно призвести до чорного кольору. Однак через недостатню збалансованість компонентів фарб чорний колір мав деякі відтінки. Тому було прийняте рішення ввести в систему ще й чорний колір (а під час друку додавати чорну фарбу) – система перетворилася в **CMYK** (black).

Незважаючи на велику кількість робіт, обумовлених значним практичним значенням цієї кольорової системи, вона не перспективна для встановлення естетичних показників якості декоративного каменю. Спрощено це твердження можна обґрунтувати тим, що МОК затвердила нову систему, яка призначена для визначення показників, що характеризують колір фарб, пігментів, чорнила та іншої продукції для поліграфії. На її основі також ведеться відбір та бракування виробів із застосуванням еталонів та узгоджених зразків.

Ця система отримала найменування **L*a*b*** (**Lab** чи **LAB**). Її складові визначають:

- ◆ **L** – світлість;
- ◆ **a** – розмір червоно-зеленої компоненти в кольорі, що аналізується;
- ◆ **b** – розмір жовто-синьої компоненти.

Вона створює прямокутну систему координат. Значення складових **Lab** визначають шляхом обчислень [2] за виразами:

$$\begin{aligned} L^* &= 25 \left(100 \frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} - 16; \\ a^* &= 500 \left[\left(\frac{X}{X_0} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} \right]; \\ b^* &= 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_0} \right)^{\frac{1}{3}} \right]. \end{aligned} \quad (16)$$

де **X**, **Y**, **Z** – кольорові координати об’єкта в системі **XYZ**;

X₀, **Y₀**, **Z₀** – кольорові координати в системі **XYZ** джерела білого світла. При джерелі типу **C**, який рекомендується використовувати, **X₀ = 98,04**; **Y₀ = 100**; **Z₀ = 118,1**.

Для визначення розбіжностей між двома кольорами для кожного з них додатково треба обчислити:

- ◆ насиченість:

$$C_{ab}^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}, \quad (17)$$

- ◆ кольоровий тон:

$$h_{ab} = \arctg \frac{b^*}{a^*}, \quad (18)$$

потім – визначити розбіжності за світлістю, насиченістю, кольоровим тоном, та повну кольорову різницю. Знайдені значення, шляхом порівняння з допустимими, визначають наявність чи відсутність припустимих розходжень в кольорі об’єктів.

Висновки

На сучасному рівні розвитку методів оцінки естетичної якості виробів неможливо уникнути методу візуального порівняння з еталонами (узгодженими зразками). Однак для такого важливого показника якості, як колір, можна отримати кількісну оцінку, що дасть змогу на етапі порівняння зменшити суб’єктивний фактор.

Для знаходження кількісної оцінки кольору слугують колориметричні системи, скорочений аналіз яких наведений вище. Принаймні в двох з них (система **Мак-Адама** та **Lab**) розбіжності в значеннях показників корельовано з розбіжностями в кольорі об’єктів, що порівнюються. Це

дає підставу говорити про можливість розробки деяких естетичних показників якості декоративного та облицювального каменю, які пов'язані з їхнім кольором. Причому необхідно врахувати те, що колір поверхні природного каменю має неоднорідний складний рисунок, який ще характеризується значними розбіжностями в зразках. У наступній роботі будуть розглянуті методи цифрової обробки зображень, які дозволять знизити рівень пов'язаних з цим труднощів.

Початкові дані для розрахунків можуть бути отримані з цифрових файлів, в яких зберігається інформація про зображення. Наприклад, дані про кольорове зображення, яке виводиться на екран дисплея, зберігається в формі **RGB**-файла (чи може бути трансформований в нього). Їх перерахунок у показники інших систем проводиться за формулами, що не потребують значних обчислювальних витрат і можуть бути реалізовані (в разі необхідності) на простіших мікропроцесорах. Значні успіхи в розробці різноманітної апаратури вводу/виводу для обчислювальної та комп'ютерної техніки, її програмного забезпечення, дозволяють оптимістично розцінювати можливість отримання цифрових відеозображень каменю. Безперечно необхідно буде визначити можливі та допустимі похибки приладів та каналів вводу.

Незважаючи на те, що рівень застосування системи **Lab** досягнув того, що вона впроваджена в державні стандарти визначення якості вироблених фарб, пігментів, чорнил та іншої продукції для поліграфії, складна структура рисунку природного каменю, її різноманітність, особливості використання і т.і. вказує на необхідність проведення значних робіт для досягнення практичних результатів з виявлення кількісної оцінки кольору.

ЛІТЕРАТУРА:

1. ДСТУ Б В 2.7-16-95. Матеріали стінові кам'яні. Номенклатура показників якості. Державний комітет у справах містобудування і архітектури. – Київ, 1996.
2. ГОСТ 16873-92 (ИСО 787/1-82). Пигменты и наполнители неорганические. Методы определения цвета и белизны: Госстандарт России. – Москва, 1993.
3. *Новаковский С.В.* Цветное телевидение (Основы теории цветовоспроизведения). – М.: Связь, 1975. – 376 с.
4. *Бакка Н.Т., Ильченко И.В.* Облицовочный камень. Геолого-промышленная и технологическая оценка месторождений: Справочник. – М.: Недра, 1992. – 303 с.
5. *Шлихт Г.Ю.* Цифровая обработка цифровых изображений. – М.: ЭКОМ, 1997. – 336 с.
6. *Грабар І.Г.* Термоактиваційний аналіз та синергетика: Наукова монографія. – Житомир: ЖІТІ, 2002. – 312 с.

КУПКІН Євген Савелійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та управління в технічних системах Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- апаратні та програмні прилади обробки сигналів;
- цифрова обробка зображень;
- медична електроніка.

Подано 14.10.2002