

МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ КОЛІРНИХ ВІДМІННОСТЕЙ ЗОБРАЖЕНЬ

Розроблено методику оцінки колірності зображення за відхиленням середнього кольору зображення в колірному просторі RGB для об'єктивної оцінки повнокольорових і напівтонових зображень. Розроблена методика може бути використана для оцінки колірності як цифрових, так і друкованих зображень.

Ключові слова: середній колір, піксель, колірний простір RGB.

Постановка проблеми. Зростання ефективності науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, експериментів і випробувань, а також підвищення якості продукції, ефективності управління виробничими процесами стоять у переліку найважливіших завдань метрологічного забезпечення поліграфічного виробництва. Забезпечення достовірної оцінки і контролю якості як готової продукції, так і проміжного контролю якості є інструментом вдосконалення технологічних процесів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Контроль колірності зображень за шкалами має достатнє метрологічне забезпечення [1]. Однак під час контролю зображень в цілому характерною рисою поліграфічного виробництва є велика частка візуального оцінювання якості, що, звичайно, може вносити похибки вимірювання.

У теорії та практиці оцінювання якості як друкованих, так і цифрових зображень, відсутній єдиний підхід [2, 3]. Для оцінки друкованих зображень використовують дві групи методів:

– об'єктивні, або метрологічні, що визначають якість фізичними методами (вимірвальним, реєстраційним, розрахунковим);

– суб'єктивні (візуальні, суб'єктивно-статистичні, (психометричні [2]) (експертні, соціологічні, органолептичні), що визначають якість зображення за суб'єктивними оцінками експертів чи споживачів.

Саме на суб'єктивних (візуальних) методах оцінювання зображень ґрунтуються підходи, пов'язані з порівнянням, класифікацією, ранжируванням, присвоєнням певних градацій. Це, зокрема, і методи бального оцінювання, коли оцінюваним зображенням надаються певні бали за попередньо розробленою шкалою. Методи візуального оцінювання є достатньо трудомісткими, особливо для великих вибірок, коли до того ж зростає ймовірність помилкового оцінювання через нечіткість критеріїв (використання шкал типу 5 – відмінно, 4 – добре, 3 – задовільно, 2 – погано, 1 – незадовільно). Тому актуальним є розвиток кількісних методів оцінки з урахуванням особливостей людського сприйняття зображень, а саме: людина погано сприймає дрібні кольорові деталі, розрізнення кольору людиною є нижчим, ніж сприйняття яскравості [3].

Кількісні методи оцінювання зображень можуть базуватися як на абсолютних оцінках різкості [4] чи контрасту [5], так і на порівняльних вимірюваннях різного типу [6, 7]. Порівняльні оцінки цифрових зображень ґрунтуються на визначенні різниці між кольором відповідних пікселів зображення, що потребує точного суміщення еталонного і оцінюваного зображень і не завжди може бути реалізовано для сканованого поліграфічно відтвореного зображення.

Мега роботи. Розроблення на основі запропонованої моделі середнього кольору зображення методики оцінки оптичних характеристик зображення за відхиленням середнього кольору для усунення суб'єктивності в оцінці зображень, отриманих під час різних технологічних процесів, а також відбитків, підданих штучному зношуванню,

Викладення основного матеріалу. Нами розроблена модель середнього кольору зображення, згідно з якою зображення віддається від глядача на певну відстань, на якій всі кольори зображення змішуються, утворюючи нероздільну кольорову пляму. Тобто, зображення перетворюється на умовний піксель, який є сумішшю кольорів всіх його пікселів. На підставі запропонованої моделі можливо оцінити ступінь наближеності оптичних характеристик двох зображень за відхиленням середнього кольору. Такий спосіб, що має на меті усунення суб'єктивності оцінки зображень, може бути застосований для обробки як цифрових зображень, так і друкованих.

Для визначення ΔF_j – відхилення від еталону середнього кольору j -го оцінюваного зображення $j \in N$ (N – область натуральних чисел; $1 \leq j \leq n$, де n – кількість оцінюваних зображень), використано підхід, характерний для задач розміщення [2], коли відхилення оцінюється як відстань між ідеальним вектором $\bar{f}_0 = \{ \bar{R}_0, \bar{G}_0, \bar{B}_0 \}$ середнього кольору еталонного зображення, де $\bar{R}_0, \bar{G}_0, \bar{B}_0$ – колірні координати по кожному каналу RGB еталонного зображення, і вектором j -го оцінюваного зображення $\bar{f}_j = \{ \bar{R}_j, \bar{G}_j, \bar{B}_j \}$, де $\bar{R}_j, \bar{G}_j, \bar{B}_j$ – колірні координати по кожному

каналу RGB j -го оцінюваного зображення, на основі різних метрик, зокрема, евклідової метрики :

$$\Delta F_j = \sqrt{(\overline{R}_0 - \overline{R}_j)^2 + (\overline{G}_0 - \overline{G}_j)^2 + (\overline{B}_0 - \overline{B}_j)^2} \quad (1)$$

Сформований відповідно до (1) вираз для відхилення від еталону середнього кольору j -го оцінюваного зображення ΔF_j є протилежним до функції корисності, тобто найбільш близьким за кольором до еталонного є зображення з найменшим відхиленням. У попередніх дослідженнях нами визначено, що саме евклідова метрика для завдань поліграфічного виробництва має найвищу точність визначення переваги альтернатив на основі функції корисності [8]. Крім того, колірний простір RGB, як правило, представляють у вигляді тривимірного простору [9, 10], що також обумовлює вибір евклідової метрики для оцінки відхилення від еталону середнього кольору зображення.

У роботі [11] запропоновано підхід до визначення кольору зображень в колірному просторі (r, g, b, α) , тобто, крім традиційних, для комп'ютерної графіки трьох колірних каналів RGB введено ще альфа-канал, що характеризує прозорість. Так, згідно з [11], колір пікселя P , який є результатом змішування кольорів двох інших пікселів A і B , визначається таким чином:

$$C_P = \frac{1}{\alpha_R} (\alpha_A C_A + (1 - \alpha_A) \alpha_B C_B),$$

де C_P – колірна координата нового пікселя; C_A, C_B – колірні координати вихідних пікселів; α_A, α_B – коефіцієнти прозорості (координати альфа-каналів) вихідних пікселів; α_P – координата альфа-каналу нового пікселя, яка визначається як $\alpha_P = \alpha_A + \alpha_B(1 - \alpha_A)$.

Нами пропонується у разі обробки групи пікселів (більше 2) для визначення кольору пікселя, що утворюється в результаті змішування кольорів всіх пікселів групи, використовувати замість коефіцієнта прозорості ваговий коефіцієнт вкладу кожного пікселя. Тоді для кожного колірних каналу j -го оцінюваного зображення маємо:

$$\begin{aligned} \overline{R}_{ij} &= \overline{R}_{(i-1)j} \cdot \left(1 - \frac{1}{ij}\right) + R_{ij} \cdot \left(\frac{1}{ij}\right); \\ \overline{G}_{ij} &= \overline{G}_{(i-1)j} \cdot \left(1 - \frac{1}{ij}\right) + G_{ij} \cdot \left(\frac{1}{ij}\right); \\ \overline{B}_{ij} &= \overline{B}_{(i-1)j} \cdot \left(1 - \frac{1}{ij}\right) + B_{ij} \cdot \left(\frac{1}{ij}\right), \end{aligned} \quad (2)$$

де i – номер поточного пікселя j -го оцінюваного зображення; $i \in N$ (N – область натуральних чисел; $2 \leq i \leq k$, де k – кількість пікселів в оброблюваній області), $\overline{R}_{ij}, \overline{G}_{ij}, \overline{B}_{ij}$ – усереднені колірні координати i пікселів j -го зображення; R_{ij}, G_{ij}, B_{ij} – колірні координати поточного пікселя j -го зображення. При цьому колірні координати першого пікселя j -го зображення R_{1j}, G_{1j}, B_{1j} приймаються за точку відліку і не потребують усереднення.

Методом визначення середнього кольору може бути використання графічного редактора, наприклад, Adobe Photoshop, для масштабування зображення до розміру 1 пікселя. Однак використання графічних редакторів для визначення середнього кольору вимагає ручної обробки зображення. Тому з метою автоматизації процесу визначення середнього кольору нами розроблений алгоритм визначення середнього кольору зображення з обчислювальним модулем GetAverageColor (рис. 1), включеним в розроблену нами програму Color Difference Meter. Ручне виділення зон контролю на зображеннях замінено на автоматичне визначення зон завдяки одноразовому введенню координат, що відповідають обраним зонам контролю.

Алгоритм, в результаті виконання якого відбувається цифрова обробка сканованих зображень – еталонного і оцінюваного, що полягає в отриманні середнього кольору виділеної для контролю зони зображень, складається з наступних етапів:

1. Вибір зображення-еталона і оцінюваного зображення у вікні програми Color Difference Meter.
2. Виділення зони / зон контролю зображення-еталона.
3. Автоматизоване виділення і позиціонування зони/зон контролю оцінюваного зображення.
4. Введення значень матриці даних по кожному каналу RGB в обчислювальний модуль GetAverageColor.
5. Визначення середнього кольору зображення-еталона в обчислювальному модулі GetAverageColor.
6. Визначення середнього кольору оцінюваного зображення в обчислювальному модулі GetAverageColor.
7. Визначення відхилення від еталону середнього кольору оцінюваного зображення.

8. Виведення результатів у вікні програми Color Difference Meter.

Якщо проводиться оцінка відхилення середнього кольору друкованого зображення, то необхідно здійснити сканування зображення-еталона і оцінюваного зображення. Операції сканування еталонного зображення і визначення його середнього кольору можуть бути замінені введенням заздалегідь відомого середнього кольору еталона.

Програмне забезпечення визначення середнього кольору області зображення `GetAverageColor` ґрунтується на об'єктно-орієнтованій мові C++ та використовує вільну бібліотеку `CImg` для відкриття та представлення файлу зображення у вигляді матриці чисел з даними по кожному каналу RGB.

З метою оцінки точності розробленого методу визначення середнього кольору проведено порівняння колірних координат, визначених новим методом, і координат, визначених з використанням графічного редактора Adobe Photoshop шляхом масштабування зображення до розміру 1 пікселя. Тут і надалі використано 24-х бітну колірну модель RGB. Результати порівняння показані в табл.1, де наведено функцію корисності запропонованого методу, визначену на основі евклідової метрики [8]:

$$\Delta = \sqrt{(\overline{R}_{Ph} - \overline{R}_{AC})^2 + (\overline{G}_{Ph} - \overline{G}_{AC})^2 + (\overline{B}_{Ph} - \overline{B}_{AC})^2}, \quad (3)$$

де \overline{R}_{Ph} , \overline{G}_{Ph} , \overline{B}_{Ph} і \overline{R}_{AC} , \overline{G}_{AC} , \overline{B}_{AC} – колірні координати RGB середнього кольору зон, отримані за допомогою графічного редактора Adobe Photoshop і розробленого алгоритму з обчислювальним модулем `GetAverageColor` відповідно.

Як видно з даних таблиці 1, евклідова відстань між координатами середнього кольору зон контролю, отриманими еталонним методом за допомогою графічного редактора Adobe Photoshop і розробленого алгоритму з обчислювальним модулем `GetAverageColor`, не перевищує 4 (за максимально можливої евклідової відстані 442).

Розроблений алгоритм оцінювання зображень за відхиленням середнього кольору було використано для оцінки стійкості до штучного зношування зображення, отриманого металографічним друком. Існуючі методи оцінки якості зображень припускають використання візуальної оцінки, що призводить до певної суб'єктивності. Для підвищення об'єктивності оцінювання потрібно залучення великої кількості експертів [2]. Оцінка зношеності банкнот в практиці грошового обігу здійснюється або шляхом візуальної оцінки, або шляхом вимірювання їх оптичних характеристик [12] в незадрукованій зоні водяного знака. Вимірювання цих характеристик в інших областях банкнот некоректне через штриховий характер зображення, тому зміни зображення внаслідок зношення не враховуються, що знижує точність визначення зношених банкнот і може призводити як до необґрунтованого вилучення з обігу, так і до необґрунтованого повернення в обіг.

Для виконання експериментальних досліджень щодо визначення зміни показників зношування банкнот було виготовлено експериментальні зразки на різних видах задрукованого матеріалу: експериментальний банкнотний папір з покриттям 1; експериментальний банкнотний папір з покриттям 2; тиражний банкнотний папір. Експериментальні зразки піддавалися штучному зношуванню за допомогою імітатора зношування [13], приладу з автоматизованою системою управління ротаційним механізмом обертання барабану (контейнера розміром 280×220×220 мм з кришкою, затискачами та ущільненням), здатного здійснювати обертотві рухи з певними параметрами (частота, рух проти та за годинниковою стрілкою). Під час імітації зношування використовувався зношувальний агент – скляні кульки двох фракцій: діаметром 2 (вага 1 кг) та 3,3–3,8 мм (вага 1 кг), що забезпечило множинні механічні пошкодження банкнот.

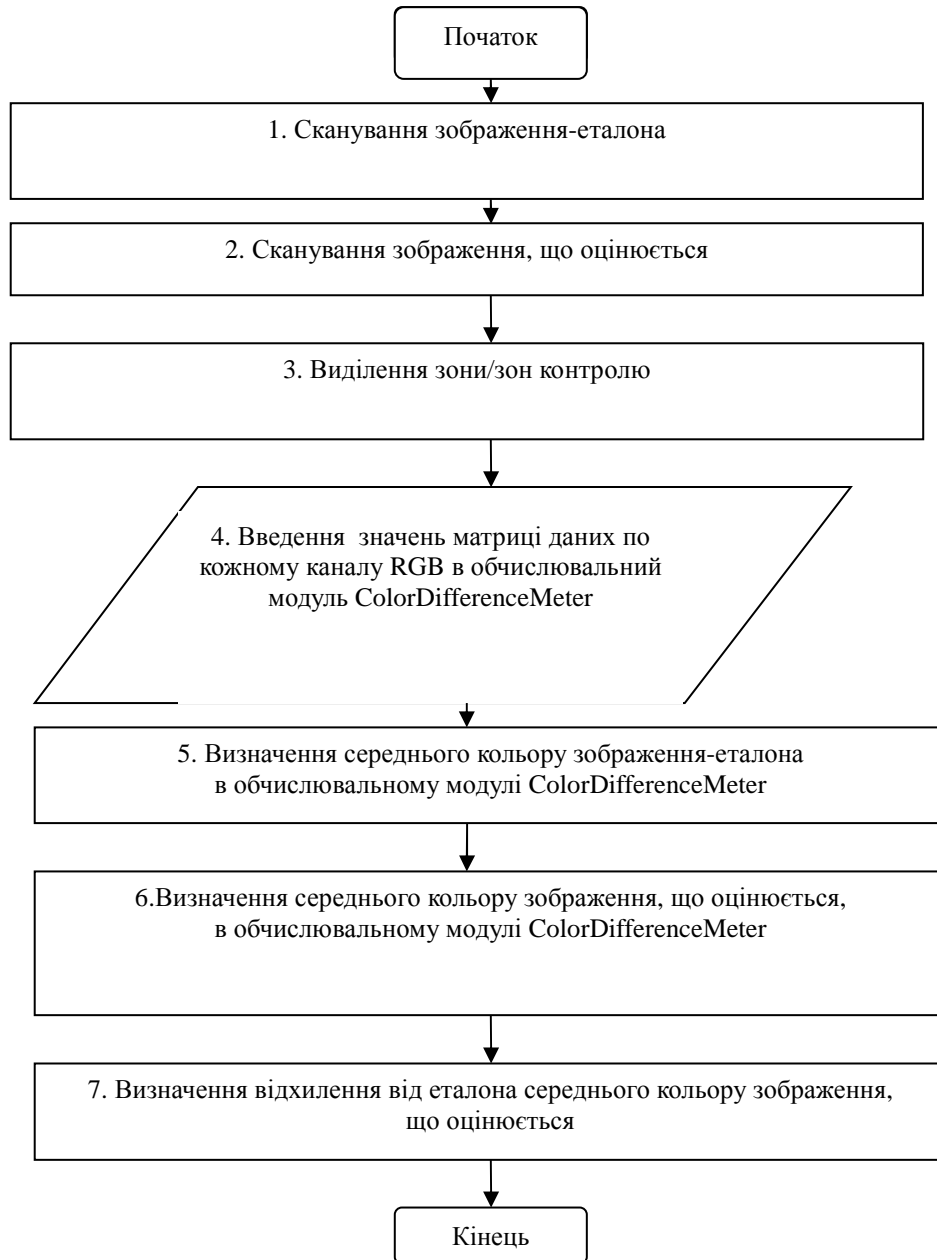


Рис. 1. Блок-схема алгоритму визначення відхилення середнього/домінантного кольору зображення

Таблиця 1

Колірні координати середнього кольору зображень, отримані різними методами для зображення-оригіналу (1) та зображення з корекцією кольору (2)

метод визначення середнього	Зона контролю
-----------------------------	---------------

	1			2			3			4			5		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
Ph1	97	174	201	206	198	195	137	143	105	168	193	206	184	203	214
AC1	97	174	201	206	198	195	138	144	105	168	193	207	184	203	213
ЭВ1	0			0			1			1			1		
Ph2	110	194	199	212	214	195	148	167	105	174	208	206	192	218	213
AC2	110	194	200	212	214	195	149	168	105	177	210	207	192	218	213
ЭВ2	1			0			1			4			0		
ΔF	24			15			23			20			15		

В таблиці 1: Ph – Adobe Photoshop, AC – програмний модуль GetAverageColor, ЭВ – евклідова відстань між умовними пікселями середнього кольору в колірному просторі RGB, отриманими за допомогою графічного редактора Adobe Photoshop і розробленого алгоритму з обчислювальним модулем GetAverageColor, відповідно (3), ΔF – відхилення середнього кольору зображення (1).

Сухе зношування проводилося без використання забруднювальних речовин. Час перебування зразків в імітаторі 120 хв.

Після проведення імітації зношування зразків проведено визначення відхилення середнього кольору зон контролю (табл. 2).

Отримані результати підтвердили припущення, що через недостатню адгезію фарби до експериментальних видів паперу, які мають нижчу, ніж тиражний папір, поверхневу вбирність, рельєфне зображення, отримане в результаті інтагліо друку, піддається більшому зношуванню, ніж зображення на тиражному папері. Крім того, фарба інтагліо друку, в результаті її стирання через механічний вплив в ході штучного зношування виступає додатковим забруднювальним агентом, викликаючи зміну кольору нездрукованих ділянок паперу. Тому необхідно корегувати реологічні властивості фарби з метою підвищення її адгезії до основи банкноти.

Визначення точності методики оцінювання колірних відмінностей за відхиленням середнього кольору, проведене шляхом порівняння оцінок, отриманих цим методом, з комплексною оцінкою, отриманою формуванням функції корисності альтернатив – груп зразків [8] (табл. 2). В таблиці 2 відносні показники відхилення середнього кольору, зміни яскравості, функції корисності, колірного відхилення зразків визначено шляхом їх нормування зведенням до еталонного значення, за яке обрано найкраще з групи. Функцію корисності наведено без урахування показників середнього кольору.

Середню похибку середнього арифметичного (m) розраховано за формулою:

$$m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}},$$

де σ – середнє квадратичне відхилення ($\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$); n – кількість спостережень ($n = 1$); \bar{x} –

середнє арифметичне результатів спостережень x_i ($i = 1 \div n$): $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$.

Таблиця 2

Відхилення середнього кольору зображення для експериментальних зразків

Група зразків	Відхилення середнього кольору	Функція корисності	Зміна яскравості	Колірне відхилення	Візуальна оцінка
---------------	-------------------------------	--------------------	------------------	--------------------	------------------

	абсолютне, пікс.	відносне, %	абсолютна, у. о.	відносна, %	абсолютна, %	відносна, %	абсолютне	відносне, %	абсолютна, Бал.	відносна, %
Д1	22,87	0,31	0,34	0,44	8,71	0,21	7,14	0,16	1,7	0,44
Д2	24,87	0,28	0,36	0,47	6,83	0,27	6,30	0,18	1,9	0,50
Д4	19,63	0,36	0,37	0,48	3,71	0,50	3,63	0,32	2,14	0,56
Д5	7,02	1,00	0,77	1,00	1,87	1,00	1,15	1,00	3,83	1,00
Д6	8,3	0,85	0,67	0,87	2,2	0,85	1,25	0,92	3,51	0,92
Середня похибка середнього арифметичного	–	0,052	–	–	–	0,061	–	0,087	–	0,020

Висновки. Отримані результати показують, що оцінка зображення за відхиленням середнього кольору відповідно до розробленої моделі достатньо точним показником зношеності фарбового шару має середню похибку середнього арифметичного меншу, ніж традиційні оптичні методи оцінювання – зміна яскравості та колірний зсув.

Таким чином, застосування методики оцінювання кольірних відмінностей за відхиленням середнього кольору дозволяє замінити ними багатofакторне оцінювання зразків із численними дослідженнями, а використання методики в комплексі досліджень сприятиме підвищенню точності загальної оцінки. Крім того, методика оцінювання кольірних відмінностей за відхиленням середнього кольору може бути застосована для контролю зношеності банкнот в сортувальних комплексах.

Розроблена методика оцінювання кольірних відмінностей за відхиленням середнього кольору зображення може бути використана для об'єктивної оцінки як повнокольорових, так і напівтонових зображень, що може значно сприяти розвитку системи метрологічного забезпечення поліграфічної галузі.

Список використаної літератури:

1. ДСТУ ISO 13655:2006. Поліграфія. Спектральні вимірювання та розрахунок колориметричних характеристик поліграфічно відтворених зображень (ISO 13655:1996, IDT).
2. Гавенко С.Ф. Оцінка якості поліграфічної продукції : навч. посіб. / С.Ф. Гавенко, О.В. Мельников. – Львів : Афіша, 2000. – 120 с.
3. Монич Ю.И. Оценки качества для анализа цифровых изображений / Ю.И. Монич, В.В. Старовойтов // Искусственный интеллект. – 2008. – № 4. – С. 376–386.
4. Blind Image Quality Assessment for Measuring Image Blur // Wang X., Tian B., Liang C., Shi D. // Proc. Congress on Image and Signal 2008 Congress on Image and Signal Processing, 2008. – Pp. 467–470.
5. Журавель И.М. Краткий курс теории обработки изображений / И.М. Журавель // Консультационный центр MATLAB компании Softline [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/index.php>.
6. Монич Ю.И. Новый подход к построению кода радужной оболочки глаза / Ю.И. Монич, В.В. Старовойтов // Искусственный интеллект. – 2010. – № 3. – С. 356–363.
7. Wang Z. Image quality assessment : From error visibility to structural similarity / Wang Z., Bovik A.C., Sheikh H.R. // IEEE transaction on Image Processing. – 2004. – Vol. 13, № 4. – Pp. 309–12.
8. Киричок Т.Ю. Алгоритм розв'язання багатокритеріальної задачі вибору показника зношування банкнот за допомогою функції корисності / Т.Ю. Киричок // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2013. – № 1. – С. 68–75.
9. Schanda J. Colorimetry: Understanding the CIE System / Schanda J. – Wiley-Interscience, 2007. – 459 p.
10. A fast MPEG-7 dominant color extraction with new similarity measure for image retrieval / Nai-Chung Yang, Wei-Han Chang, Chung-Ming Kuo, and Tsia-Hsing Li // J. Visual Communication and Image Representation. – 2008. – Vol. 19. – Pp. 92–105.
11. Thomas Porter and Tom Duff Compositing Digital Images / Thomas Porter and Tom Duff // Computer Graphics. – Vol. 18, № 3. – Pp. 253–259. – July, 1984.
12. TAPPI T 452 om-98. Brightness of pulp, paper, and paperboard (directional reflectance at 457 nm).
13. Banknote paper deterioration factors: circulation simulator method / T.Kyrychok, A.Shevchuk,

V.Nesterenko, P.Kyrychok // BioResources. – 2014. – Vol. 9 (1). – Pp. 710–724.

КИРИЧОК Тетяна Юріївна – кандидат технічних наук, доцент, докторант кафедри технології поліграфічного виробництва Національного Технічного Університету України «Київський Політехнічний Інститут».

Наукові інтереси:

- технологія поліграфічного виробництва;
- захист цінних паперів;
- інформаційні технології;
- електронні видання.

Тел.: (моб.) 050–331–21–91.

E-mail: t_kyrychok@vpf.ntu-kpi.kiev.ua.

Стаття надійшла до редакції 23.10.2013