

В.В. Гнатушенко, О.О. Кавац, Ю.О. Кібукевич

## АЛГОРИТМ ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ МІКРОСТРУКТУРИ СТАЛІ

*Анотація. Робота присвячена розробці алгоритму підвищення якості цифрових фотограмметричних зображень мікроструктури сталі. Застосування запропонованого алгоритму дозволяє підвищити інформативність вихідного кольорового зображення мікроструктури сталі. Проведено візуальний та чисельний аналіз якості зображень мікроструктури дуплексної двофазної сталі.*

*Ключові слова: цифрове зображення, фотограмметрія, кольорова модель HSV, вейвлет – перетворення, ентропія, індекс структурної схожості SSIM.*

### Постановка проблеми

Сучасний металографічний аналіз базується на вивченні макроструктури і мікроструктури металів, дослідження закономірності утворення структури і залежностей впливу структури на механічні, фізико - механічні, електричні та інші властивості металу. В свою чергу мікроскопічний аналіз металів полягає в дослідженні їх структури за допомогою оптичного або електронного мікроскопів або за цифровими зображеннями на спеціально підготовлених зразках. За допомогою методів мікроаналізу визначають форму і розміри кристалічних зерен та інші важливі показники [1, 2].

Якісний аналіз мікроструктури металів на пряму залежить від якості зображень, отриманих за допомогою мікроскопів. Саме тому сьогодні актуальною є задача підвищення якості вихідних зображень мікроструктури металів. Одним з ефективних підходів підвищення інформативності даних є методи їх об'єднання.

Сьогодні існують різноманітні методи об'єднання фотограмметричних зображень, що дозволяють підвищити їх інформативність. Такі методи повинні задовольняти деяким критеріям, в першу чергу це підвищення інформативності зображення та відсутність колірних спотворень [3, 4]. Оскільки існуючі методи у тій чи іншій мірі не в

повному обсязі відповідають зазначеним критеріям, виникає необхідність розробки нового алгоритму підвищення інформативності цифрових зображень мікроструктури металу.

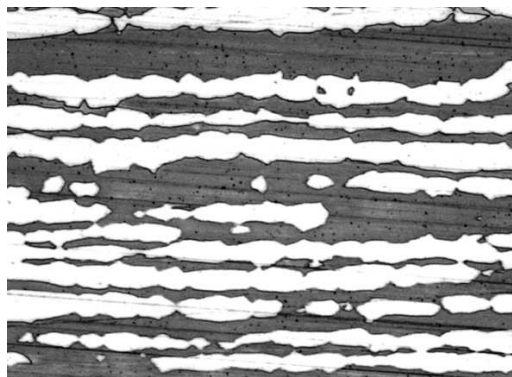
### Аналіз останніх досліджень

Використання кольору при металографічних дослідженнях є одним із найбільш важливих аспектів, що напряму пов'язані з обробкою зображення. Колір можна використовувати не тільки для відображення, але і для вилучення необхідної інформації. При описі свого сприйняття кольорового зображення зазвичай використовуються такі поняття як «інтенсивність», «тон» і «насиченість». Саме тому вихідні цвітові компоненти RGB корисно перетворювати у компоненти, що відповідають тону, насиченості та інтенсивності (HSV або HSI).

### Основна частина

Головна ідея розробленого алгоритму полягає у використанні кольорової моделі HSV та вейвлет-перетворення з метою підвищення інформативності зображення.

На рисунку 1 представлені первинні зображення мікроструктур дуплексної (аустенітно - феритної) двофазної сталі UNS S31803.



а)



б)

Рисунок 1 – Зображення мікроструктур дуплексної (аустенітно -феритної) двофазної сталі UNS S31803:

а) зображення в градаціях сірого, б) кольорове зображення

За візуальним аналізом первинних вихідних зображень, можна зробити висновок, що первинне кольорове зображення не відрізняється чіткістю на відміну від зображення у градаціях сірого. Отже суть задачі полягає у застосуванні алгоритму з метою підвищення інформативності кольорового зображення.

Першим кроком алгоритму є переведення кольорових компонент RGB у HSV (тон, насиченість, інтенсивність). Наступним кроком алгоритму є об'єднання зображень. Для того щоб отримати результат об'єднання двох зображень, вхідні зображення розкладаються на горизонтальну, вертикальну, діагональну і апроксимуючу складові. Для цього застосовується вейвлет – перетворення [5]. Основною особливістю даних методів є застосування до вихідних зображеннях дискретного вейвлет-перетворення, подальша заміна отриманих коефіцієнтів і виконання зворотного перетворення (IDWT, inverse DWT). Результатом є синтезоване зображення з більш високою інформативністю. Деталі процесу такого злиття, вибір виду вейвлет - перетворення і рівня декомпозиції залежать від конкретного методу [5]. На рисунку 2 наведено графічне подання алгоритму підвищення інформативності цифрових зображень.

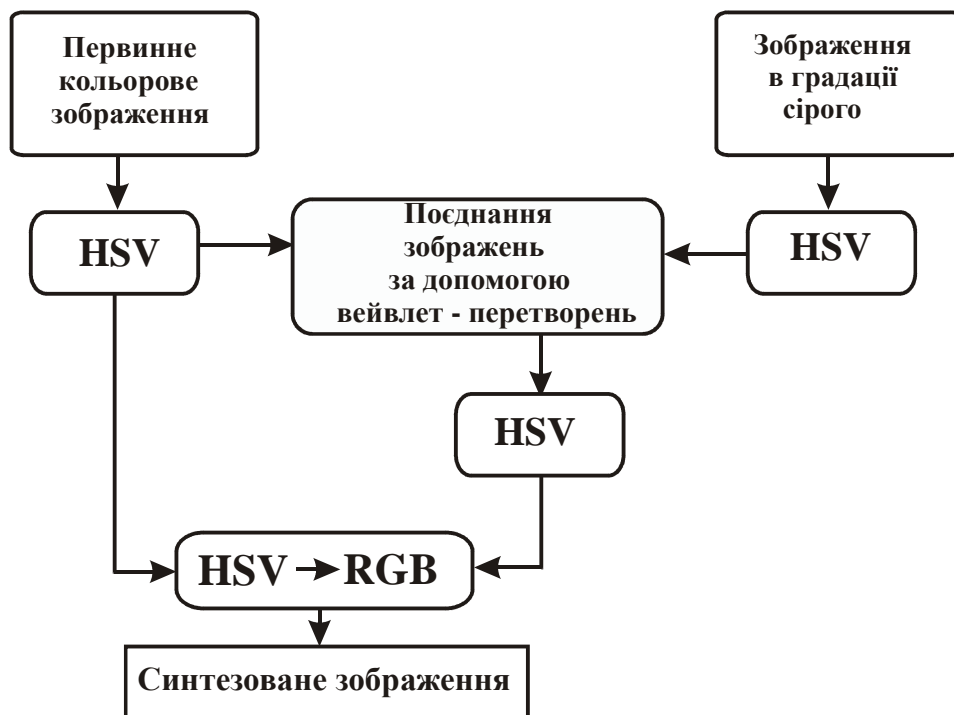


Рисунок 2 – Схема алгоритму

При переведенні з HSV в кольорову модель RGB пропонуємо обрати компоненту V після вейвлет – перетворення. Результатом роботи алгоритму є синтезоване кольорове зображення з більш високою інформативністю. На рисунку 3 наведено синтезоване зображення, отримане за результатом роботи алгоритму.

При роботі з візуальною інформацією завжди доводиться задаватися питанням про її якість. Якість такого складного об'єкта як зо-

ображення є дуже важливим, але водночас і досить нечітким поняттям. Воно оцінюється різними способами у зв'язку з різними завданнями. У даній роботі пропонується використовувати ентропію, що характеризує середню кількість інформації, втраченої при обробці, тобто в нашому випадку ступінь згладжування контурного малюнка і структурних деталей на зображенні. Формула для обчислення ентропії має наступний вигляд:

$$\varepsilon = \sum_{(i,j) \in L} (P(i,j) \log_2 P(i,j)) / \log_2(nm), \quad (1)$$

де  $P(i,j) = \frac{H(L(i,j))}{n \times m}$ ,  $H(L(i,j))$  - значення гістограми для елемента з значенням яскравості  $L(i,j)$ ,  $n \times m$  - розмірність.

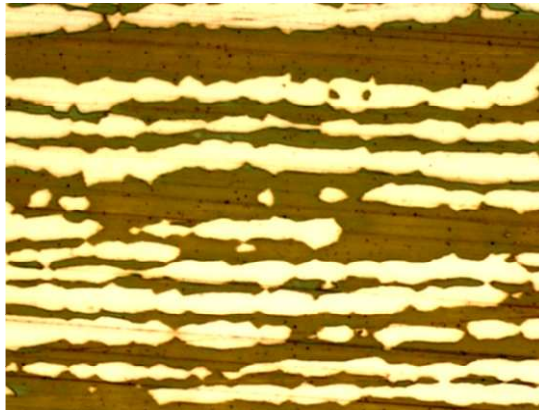


Рисунок 3 – Синтезоване зображення за допомогою розробленого алгоритму

У роботі проведено аналіз зображень мікроструктури дуплексної (аустенітно -феритної) двофазної сталі UNS S31803, отримано значення ентропії та доведено, що на етапі вейвлет-перетворення найефективнішим є застосування вейвлета Добеши. Із попередніх досліджень [5], зроблено висновок, що при об'єднанні зображень найефективнішим є використання вейвлета Добеши порядком вище двадцятого. Отримані результати свідчать про збільшення значення ентропії з 7.375 до 7.801 (і відповідно інформативності первинного кольорового зображення) при застосуванні запропонованого алгоритму. Відповідні значення ентропії представлені на рисунку 4.

Ще одним показником якісного аналізу зображення є індекс структурної схожості (SSIM). Ідея знаходження SSIM полягає у на-

ступному [6]. Нехай є два сигнали однієї розмірності  $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$  та  $\mathbf{y} = (y_1, \dots, y_n)$ . Тоді SSIM-індекс визначається за виразом:

$$SSIM = \frac{2\bar{x}\bar{y}}{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \cdot \frac{2\sigma_x\sigma_y}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \cdot \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x\sigma_y}, \quad (2)$$

де дисперсія та коваріація дорівнюють, відповідно

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}),$$

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad \sigma_y^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2,$$

$\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  — середні значення інтенсивностей  $x$ ,  $y$  відповідно.

У роботі значення індексу структурної схожості обчислювалися стосовно панхромного з одного боку та первинного й синтезованого зображень з іншого. Отримані дані наведені у таблиці 1.

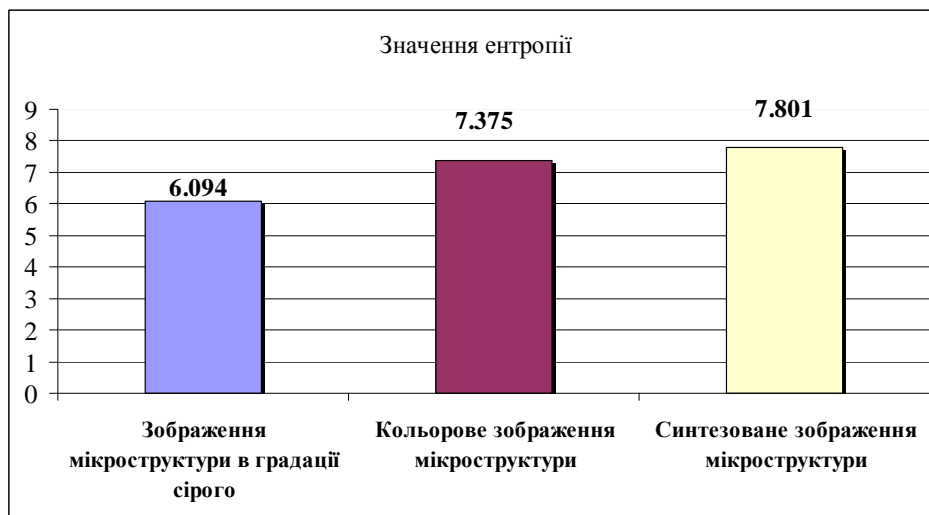


Рисунок 4 – Графічне представлення значень ентропії

Таблиця 1

Значення SSIM

Показник/Канали	R	G	B
SSIM первинного зображення	0.7268	0.7395	0.7612
SSIM синтезованого зображення	0.9311	0.8415	0.8873

### Висновки

Проведені дослідження підтвердили ефективність застосування нового алгоритму з метою підвищення якості цифрових зображень мікроструктури металів. За результатами візуального та чисельного аналізу визначено, що застосування нового алгоритму приводить до підвищення інформативності первинних кольорових даних.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Чубов А. А. Автоматизация металлографического анализа и контроля сплавов с использованием методов цифровой обработки оптических изображений микроструктур: Дис. канд. техн. наук: 05.13.06; - Защищена 09.12.2005; Утв.09.03.2006. - М., 2007. –359 с.: ил.-Библиогр.: с. 14-33, 49-55.
2. Перфильев Д. А. Описание структуры и алгоритм анализа микроструктурных металлографических изображений деформируемых алюминиевых сплавов: Дис. канд. техн. наук: 05.13.17; - Защищена 09.12.2005; Утв.09.03.2006. - Красноярск, 2007. – 124 с.: ил.-Библиогр.: с.5-48.
3. Hnatushenko V. Computer technology more informative multispectral images of the earth surface / V. Hnatushenko, A. Safarov // Applied Geometry and Engineering Graphics. - К.: KNUBA, 2012. - Vol. 89. – С. 140-144.
4. Pohl C. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications / C. Pohl, J.L. Van Genderen // International journal of remote sensing. – 1998. – Vol. 19. – No. 5. – P. 823-854.
5. Гнатушенко В.В. Дослідження впливу характеристик вейвлетів на ефективність об'єднання фотограмметричних зображень /О. О. Кавац, В.В.Гнатушенко, О.О.Сафаров // «Прикладна геометрія та інженерна графіка», Праці Таврійський державний агротехнічний університет - Випуск №4, Том №56, м. Мелітополь - 2013. стр. 33-40.
6. Wang Z. Image quality assessment: From error visibility to structural similarity / Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli // IEEE Trans. Image Processing. – 2004. – Vol. 13. – P. 600-612.