

7. Аветисян А. И. Системы управления кластерами / А. И. Аветисян, Д. А. Грушин, А. Г. Рыжов // Труды Института системного программирования РАН. Том 3. – М., 2002. – С. 39-62.

8. Литвинов В. В. Распределенная система имитационного моделирования на основе архитектуры CORBA / В. В. Литвинов, В. В. Казимир, И. Б. Гавсиевич // Математичні машини і системи. – № 2, 3. – К., 2000. – С. 111-114.

9. Анни П. Этот Grid – неспроста... / П. Анни // Открытые системы. – №1. – М., 2003 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://citforum.ru/nets/articles/egridn.shtml>.

УДК 004.932.2(045)

П.О. Приставка, д-р техн. наук

М.О. Рябий, аспірант

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ СТИСНЕННЯ З ВТРАТАМИ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ НИЗЬКОЧАСТОТНИХ ФІЛЬТРІВ

Проведено експериментальне дослідження використання лінійних фільтрів (низькочастотних та псевдозворотних до них контрастних) для підвищення відсотка стиснення цифрованих зображень з втратами. Статистично доведено переваги запропонованого підходу.

Проведено экспериментальное исследование использования линейных фильтров (низкочастотных и псевдообратных к ним контрастных) для повышения процента сжатия цифровых изображений с потерями. Статистически доказано преимущества предложенного подхода.

An experimental study using of linear filters (low-frequency and pseudo inverse contrast tothem) is made to increase the percentage of image compression tsyfrovanyh losses. Statistically is proved benefits of the proposed approach.

Вступ. Значні капіталовкладення в комп'ютерну техніку, здатну ефективно працювати з такими графічними середовищами як Microsoft Windows або X / Motif, створили цілий клас комп'ютерів, здатних відтворювати на екрані складні графічні образи з якістю, що наближається до телевізійного або поліграфічного. Програми, що працюють з графічними образами, відносяться до таких різних категорій, як комп'ютерні ігри, освіта, настільні видавничі системи, а також багатьох інших. Спільна особливість у цих програм одна: графічні файли, з якими вони працюють, займають велику кількість дискового простору.

У кінці 70-х – початку 80-х років технології стиснення графічних образів розвивалися в напрямку застосування звичайних алгоритмів стиснення без втрат до графічних даних [1]. Широко поширені у світі персональних комп'ютерів формати зберігання графічних образів, такі як РСХ, ВМР, використовуючи ті чи інші методи стиснення без втрат, дозволяють зменшувати обсяг файлу 20 відсотків [2]. Однак зі зростанням обсягу збереженої графічної інформації такий підхід перестав себе виправдовувати.

Постановка проблеми. Тому проблематику цієї роботи визначено потребою у стисненні цифрованих зображень (ЦЗ) відомими методами з додатковою модифікацією, що за можливості має сприяти більшому ступеню компресії, з втратами та без них.

Аналіз досліджень та постановка задачі. Стиснення ЦЗ поділяються на дві групи: стиснення з втратами та стиснення без втрат [3]. Методи стиснення без втрат дають більш низький коефіцієнт стиску, проте, зберігають точне значення пікселів вихідного зображення. Методи стиснення з втратами дають високі коефіцієнти компресії, але не дозволяють відтворити вихідне зображення з точністю до всіх значень кольорових складових пікселя. Загальновідомо, що під час погляду на фотореалістичне ЦЗ, людське око не сприймає всі відтінки кольорів, тому деякі деталі можуть бути проігноровані без суттєвого спотворення зображення. Найбільш відомими та широко розповсюдженими методами стиснення ЦЗ із втратами та без них є алгоритм JPEG та архіватор WinRAR відповідно [4;5].

Вищезазначені методи стиснення дають досить високий коефіцієнт компресії даних, з незначними втратами або за відсутності останніх. У роботі [6] було запропоновано

проведення дослідження в напрямку пошуку інваріантних перетворень ЦЗ, а саме на попередньому етапі стиснення додати низькочастотний фільтр (НЧ) [5], що при використанні разом із запропонованими методами стиснення дозволить підвищити відсоток стиснення. Для відновлення зображення потрібно застосувати зворотну до НЧ фільтра функцію (рис. 1), якою є функція контрастування (КФ) [7].

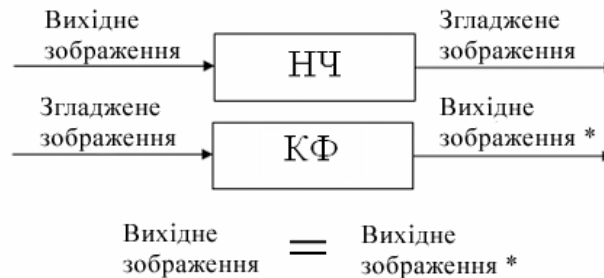


Рис. 1. Функція накладання фільтрів на зображення

Припустимо задано деякий растр, кожному пікселю якого поставлено у відповідність двійка індексів $\{(i, j)\}_{i, j \in \mathbb{Z}}$, що визначають його місцеположення. Не зменшуючи загальності, позначимо $\{p_{i, j}\}_{i, j \in \mathbb{Z}}$ – послідовність кольорової складової (наприклад, з простору RGB) вихідного растру. Під визначенням лінійного фільтра будемо розуміти лінійний оператор $W(p^{i, j})$, що призводить до зміни (фільтрації) як форми, так і образу кольорових складових растру

$$\tilde{p}_{i, j} = W(p^{i, j}) = \sum_{ii=i-r_i}^{i+r_i} \sum_{jj=j-r_j}^{j+r_j} \gamma_{ii-i, jj-j} p_{ii, jj}, \quad i = \frac{-k_i}{2}, \frac{k_i}{2}, \quad j = \frac{-k_j}{2}, \frac{k_j}{2},$$

або (не зменшуючи загальності) $i, j \in \mathbb{Z}$, де (i, j) – індекс пікселя растру; k_i, k_j – розміри кадру зображення; $\tilde{p}_{ii, jj}$ – кольорова складова растру після дії оператора $W(p^{i, j})$; $\gamma_{ii-i, jj-j}$ – елемент маски фільтра; $(2r_i + 1) \times (2r_j + 1)$ – розмір маски фільтра.

Не зменшуючи загальності, в подальших дослідженнях будемо використовувати такі маски лінійних фільтрів:

– низькочастотних

$$Н2.0 = \frac{1}{64} \begin{pmatrix} 1 & 6 & 1 \\ 6 & 36 & 6 \\ 1 & 6 & 1 \end{pmatrix}, \quad Н3.0 = \frac{1}{36} \begin{pmatrix} 1 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 1 \end{pmatrix}$$

– контрастних (псевдзворотних до відповідних низькочастотних)

$$К2.0 = \frac{1}{1156} \begin{pmatrix} 1 & -8 & 48 & -8 & 1 \\ -8 & 64 & -384 & 64 & -8 \\ 48 & -384 & 2304 & -384 & 48 \\ -8 & 64 & -384 & 64 & -8 \\ 1 & -8 & 48 & -8 & 1 \end{pmatrix}, \quad К3.0 = \frac{1}{196} \begin{pmatrix} 1 & -6 & 24 & -6 & 1 \\ -6 & 36 & -144 & 36 & -6 \\ 24 & -144 & 576 & -144 & 24 \\ -6 & 36 & -144 & 36 & -6 \\ 1 & -6 & 24 & -6 & 1 \end{pmatrix}.$$

Виходячи з вищесказаного, метою цієї роботи є проведення експериментального дослідження для обґрунтування статистично значущого підвищення рівня стиснення ЦЗ з втратами, що практично не сприймаються людським оком при умові використання інваріантних перетворень.

Виклад основного матеріалу. Для проведення досліджень було сформовано вибірку ЦЗ обсягом 100 у форматі BMP без спотворення та артефактів, що ідентифікуються візуально. Спеціальних умов до розмірів, деталізації та сюжетного наповнення ЦЗ, що підлягали обробці, не надавалось. Суть експерименту полягала в стисненні методом JPEG та архіватором WinRAR, на попередньому етапі якого були застосовані низькочастотні фільтри з масками H2.0 та H3.0 до кожного ЦЗ. При зворотному процесі на етапі відновлення зображення застосовувався зворотній до низькочастотного фільтра, а саме контрастний (з масками K2.0 та K3.0 відповідно).

Якість відтворення зображень оцінювалась за двома показниками: відношення сигналу до шуму ($PSNR$) та відносна похибка, що визначаються за формулами:

$$PSNR = 10 \cdot \lg(255^2 / \sigma_{\epsilon}^2),$$

$$\Delta_{\epsilon} = \frac{1}{n \cdot m} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{\epsilon_{i,j}}{p_{i,j}} \cdot 100\%,$$

де n , m – лінійні розміри цифрового зображення; $p_{i,j}$ – значення інтенсивності в (i, j) -й точці растру; $\epsilon_{i,j}$ – абсолютне відхилення відтворення в зображенні після стиснення в (i, j) -й точці растру; σ_{ϵ}^2 – дисперсія похибки відтворення.

Вибір саме таких показників обумовлений тим, що за будь-який час зміни в зображенні не сприймаються людським оком, якщо рівень $PSNR$ більший 35 та відносна похибка менше 5 відсотків. Результати експерименту зведено в таблиці (табл.1-2) та наведено на графіках (рис. 2-11).

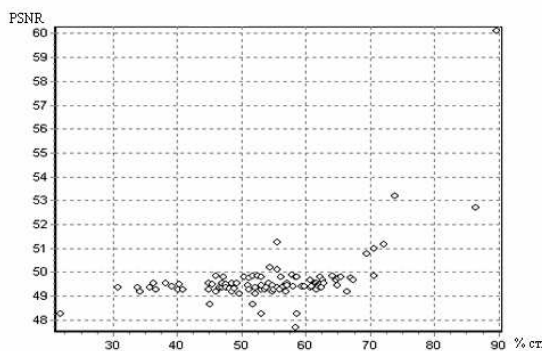


Рис. 2. Кореляційне поле даних колонок 3 та 5 таблиці 1

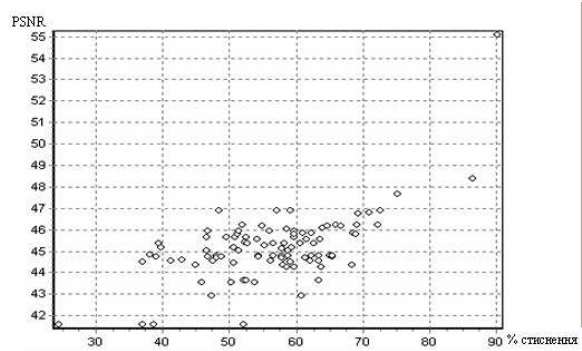


Рис. 3. Кореляційне поле даних колонок 6 та 8 таблиці 1

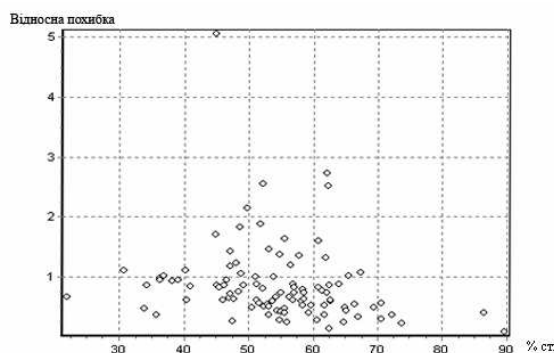


Рис. 4. Кореляційне поле даних колонок 3 та 4 таблиці 1

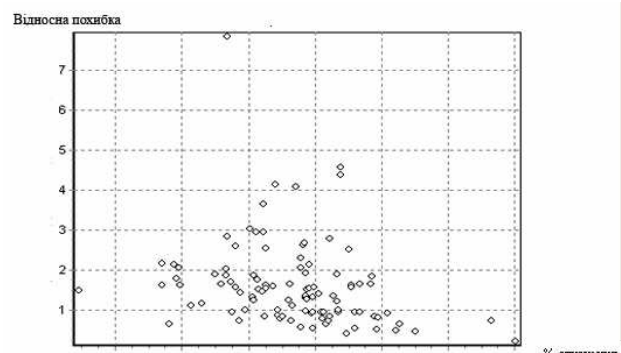


Рис. 5. Кореляційне поле даних колонок 6 та 7 таблиці 1

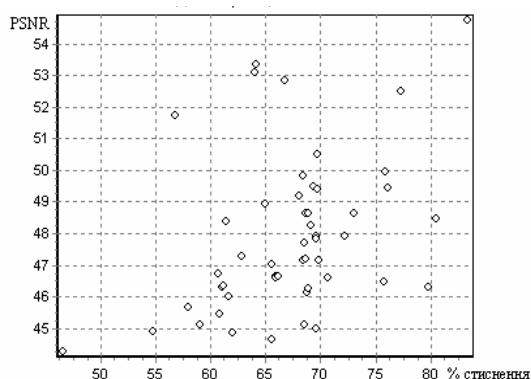


Рис. 6. Кореляційне поле даних колонок 2 та 4 таблиці 2

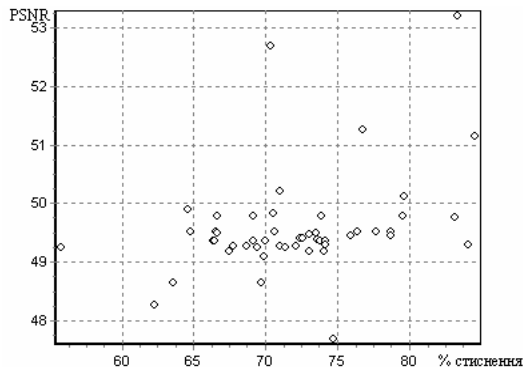


Рис. 7. Кореляційне поле даних колонок 5 та 7 таблиці 2

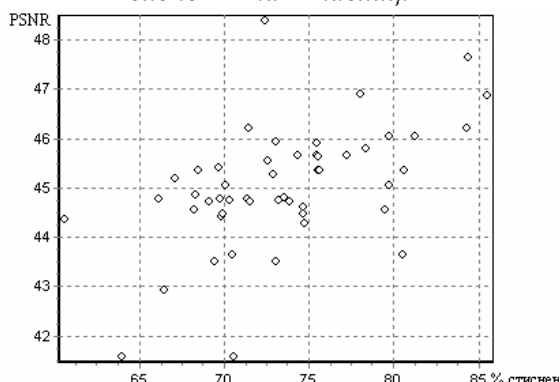


Рис. 8. Кореляційне поле даних колонок 8 та 10 таблиці 2

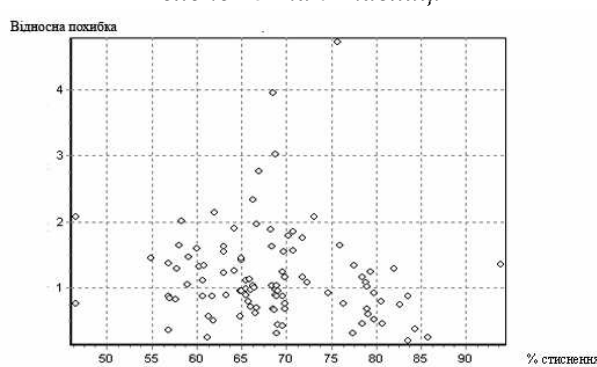


Рис. 9. Кореляційне поле даних колонок 2 та 3 таблиці 2

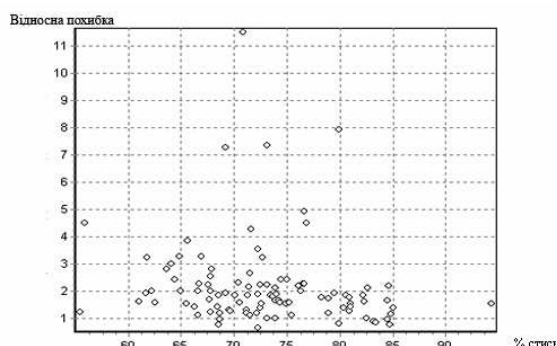


Рис. 10. Кореляційне поле даних колонок 5 та 6 таблиці 2

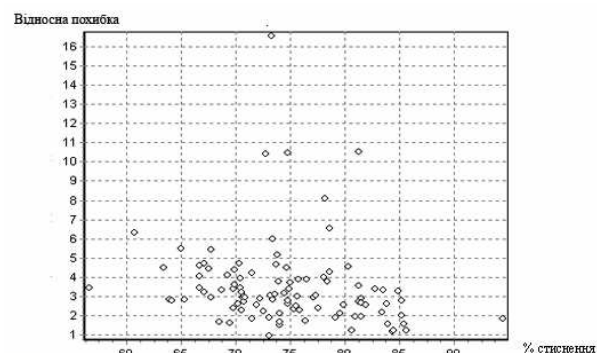


Рис. 11. Кореляційне поле даних колонок 8 та 9 таблиці 2

Таблиця 1

Результати стиснення архіватором WinRAR

№	Відсоток стиснення RAR	Відсоток стиснення RAR H2.0	Відносна похибка RAR H2.0	PSNR RAR H2.0	Відсоток стиснення RAR H3.0	Відносна похибка RAR H3.0	PSNR RAR H3.0
1	2	3	4	5	6	7	8
1	59,04	67,39	1,07	49,67	68,48	1,84	45,84
2	45,50	51,83	0,61	49,49	56,64	1,13	44,78
3	59,67	67,03	0,32	49,76	69,21	0,52	46,22
...
99	87,14	89,67	0,08	60,11	91,14	0,23	55,08
100	34,42	40,34	0,61	49,50	42,93	1,16	44,60

У першій колонці першої таблиці (табл. 1) подано нумерацію ЦЗ, що аналізувались (за браком місця всі дані не наводяться). У другій колонці наведено відсоток стиснення

архіватором WinRAR. У третій, четвертій, п'ятій та шостій, сьомій, восьмій колонках наведено відсоток стиснення, відносну похибку та *PSNR* з застосуванням низькочастотної фільтрації з масками Н2.0 та Н3.0 та архіватора WinRAR відповідно.

Таблиця 2

Результати стиснення методом JPEG

№	Відсоток стиснення JPEG	Відносна похибка	PSNR JPEG	Відсоток стиснення JPEG Н2.0	Відносна похибка Н2.0	PSNR JPEG Н2.0	Відсоток стиснення JPEG Н3.0	Відносна похибка Н3.0	PSNR JPEG Н3.0
1	78,51	0,79	50,47	82,63	2,12	43,77	82,76	3,36	40,03
2	59,01	1,05	45,09	66,66	2,26	38,24	69,76	3,37	34,81
3	79,78	0,52	46,28	83,22	0,89	42,01	84,41	1,19	39,48
...
98	61,97	2,13	48,38	65,62	3,83	42,74	67,71	5,41	39,23
99	63,02	1,22	44,85	71,35	2,17	39,90	73,43	2,85	37,49
100	66,53	0,61	46,33	72,14	1,19	40,66	74,08	1,69	37,57

У першій колонці другої таблиці (табл. 2) подано нумерацію ЦЗ, що аналізувались (за браком місця всі дані не наводяться). У другій, третій та четвертій колонці наведено відсоток стиснення, відносну похибку та *PSNR* методом стиснення JPEG. У п'ятій, шостій, сьомій та восьмій, дев'ятій, десятій колонках наведено відсоток стиснення, відносну похибку та *PSNR* з застосуванням низькочастотної фільтрації з масками Н2.0 та Н3.0 та методу JPEG відповідно.

Для статистичної оцінки результатів приведено t-тест для підтвердження трьох основних гіпотез:

- відносна похибка з використанням фільтрів не перевищуватиме значення 1-2 та 5 відсотків для стиснення архіватором WinRAR та методом JPEG відповідно;
- відсоток стиснення з використанням фільтрів перевищуватиме середнє значення відсотка стиснення без використання фільтрів, а саме $X_{\text{сер}} = 68,45$ для методу JPEG та $X_{\text{сер}} = 46,70$ для архіватора WinRAR;
- показник *PSNR* залишатиметься на рівні 45-49 для архіватора WinRAR та 41-38 для методу JPEG.

Статистична характеристика для перевірки гіпотез виводиться так:

$$t_{\epsilon} = \frac{\bar{\tau}}{\sigma\{\bar{\tau}\}},$$

де $\bar{\tau}$ – середнє значення по кожній складовій (відносна похибка, відсоток стиснення, показник *PSNR*); $\sigma\{\bar{\tau}\}$ – середньоквадратичне відхилення (відносна похибка, відсоток стиснення, показник *PSNR*). Критичнє значення статистики для перевірки гіпотез за замовчуванням вважаємо $t_{\alpha/2} = 1,98$, при ймовірності похибки першого роду $\alpha = 0,05$.

У таблиці (табл. 3) наведено результати статистичного дослідження відсотка стиснення. У першій та третій колонці сформульовано гіпотези відповідно до методу стиснення та середнього значення ($X_{\text{сер}}$). У другій та четвертій колонці наведено значення t-тесту.

Таблиця 3

Результати t-тесту відсотку стиснення

Алгоритм JPEG			
Н2.0		Н3.0	
1	2	3	4
$H_0: X_{\text{сер}}=68,45$	$t = 6,48$ Прийняти H_2	$H_0: X_{\text{сер}}=68,45$	$t = 9,57$ Прийняти H_2
$H_1: X_{\text{сер}}<68,45$		$H_1: X_{\text{сер}}<68,45$	
$H_2: X_{\text{сер}}>68,45$		$H_2: X_{\text{сер}}>68,45$	

Закінчення табл. 3

1	2	3	4
Архіватор WinRAR			
H2.0		HЧ3.0	
H ₀ : X _{сеп} =46,70	t = 6,99 Прийняти H ₂	H ₀ : X _{сеп} =46,70	t = 9,66 Прийняти H ₂
H ₁ : X _{сеп} <46,70		H ₁ : X _{сеп} <46,70	
H ₂ : X _{сеп} >46,70		H ₂ : X _{сеп} >46,70	

У наступній таблиці (табл. 4) наведено результати статистичного дослідження відносної похибки. У першій та третій колонці сформульовано гіпотези відповідно до методу стиснення та середнього значення (X_{сеп}). У другій та четвертій наведено значення t-тесту.

Таблиця 4

Результати t-тесту відносної похибки

Алгоритм JPEG			
H2.0		HЧ3.0	
H ₀ : X _{сеп} =5	t = -17,84 Прийняти H ₁	H ₀ : X _{сеп} =5	t = -6,83 Прийняти H ₁
H ₁ : X _{сеп} <5		H ₁ : X _{сеп} <5	
H ₂ : X _{сеп} >5		H ₂ : X _{сеп} >5	
Архіватор WinRAR			
H2.0		HЧ3.0	
H ₀ : X _{сеп} =1	t = -2,05 Прийняти H ₁ H ₀ вірна при α = 0,04	H ₀ : X _{сеп} =2	t = -3,47 Прийняти H ₁
H ₁ : X _{сеп} <1		H ₁ : X _{сеп} <2	
H ₂ : X _{сеп} >1		H ₂ : X _{сеп} >2	

В останній таблиці (табл. 5) наведено результати статистичного дослідження значення PSNR. У першій та третій колонці сформульовано гіпотези відповідно до методу стиснення та середнього значення (X_{сеп}). У другій та четвертій наведено значення t-тесту.

Таблиця 5

Результати t-тесту показника PSNR

Алгоритм JPEG			
H2.0		HЧ3.0	
H ₀ : X _{сеп} =41	t = 2,34 Прийняти H ₂ H ₀ вірна при α = 0,02	H ₀ : X _{сеп} =38	t = 2,51 Прийняти H ₂ H ₀ вірна при α = 0,01
H ₁ : X _{сеп} <41		H ₁ : X _{сеп} <38	
H ₂ : X _{сеп} >41		H ₂ : X _{сеп} >38	
Архіватор WinRAR			
H2.0		HЧ3.0	
H ₀ : X _{сеп} =49	t = 5,17 Прийняти H ₂	H ₀ : X _{сеп} =45	t = 2,01 Прийняти H ₂ H ₀ вірна при α = 0,04
H ₁ : X _{сеп} <49		H ₁ : X _{сеп} <45	
H ₂ : X _{сеп} >49		H ₂ : X _{сеп} >45	

Виходячи з статистичного аналізу результатів (рис. 1-10, табл. 1-5), можна зробити такі висновки:

- статистично доведено, що використання інваріантних перетворень ЦЗ («згладжування»-«контрастування») у комплексі з відомими методами стиснення покращують рівень компресії;
- при запропонованому підході показник PSNR ЦЗ у середньому на рівні 38-41 для стиснення методом JPEG та 45-49 для стиснення архіватором WinRAR;
- відносна похибка під час відтворення після стиснення ЦЗ у середньому на рівні 1-5 відсотків;
- відсоток компресії ЦЗ за запропонованим способом підвищується від 2 до 20 % залежно від методу стиснення та типу зображення;
- залежно від типу зображення змінюється відсоток стиснення, відносна похибка та PSNR, що обумовлено властивостями конкретних ЦЗ, на які варто звернути окрему увагу (або під час розробки спеціалізованих методів стиснення, або під час розробки технологій на основі відомих).

Висновки. Проведені експериментальні дослідження дозволяють стверджувати, що використання низькочастотного фільтра на початковому та контрастного фільтра на кінцевому етапі системи стиснення підвищує відсоток компресії фотореалістичних цифрових зображень і при цьому відбуваються втрати, які могли б бути помітні для людського ока.

Перспективним є зосередити подальші дослідження в напрямку уточнення контрастних фільтрів, що під час використання разом з розглянутими методами стиснення дозволить покращити показник PSNR та зменшити відносну похибку під час використання низькочастотних фільтрів, що мають більш високий ступінь згладжування, ніж наведені в роботі.

Список використаних джерел

1. Мюррей Д. Д. Энциклопедия форматов графических файлов / Д. Д. Мюррей, У. Ван Райнер. – К., 1997. – 159 с.
2. Ватолин Д. С. Алгоритмы сжатия изображений / Д. С. Ватолин. – М.: Издательский отдел факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ им. М. В. Ломоносова, 1999. – 59 с.
3. Миано Дж. Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии / Дж. Миано. – М.: Триумф, 2003. – 336 с.
4. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2006. – 259 с.
5. Приставка П. О. Обчислювальні аспекти застосування поліноміальних сплайнів при побудові фільтрів / П. О. Приставка // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій: зб. наук. праць. – Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2006. – С. 3-14.
6. Приставка П. О. Експериментальний аналіз методів стиснення цифрових зображень / П. О. Приставка, М. О. Рябий // Проблеми інформатизації та управління: зб. наук. праць. – К.: НАУ, 2010. – С. 78-84.
7. Приставка П. О. Побудова контрастних фільтрів за використанням поліноміальних сплайнів / П. О. Приставка // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій: зб. наук. праць. – Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2007. – С. 15-22.

УДК 621.891:621.316

С.Ф. Філоненко, д-р техн. наук, професор

О.П. Космач, мол. наук. співроб.

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ПІД ЧАС РУЙНУВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ

Встановлено закономірності зміни часових параметрів формованих сигналів акустичної емісії залежно від швидкості навантаження, неоднорідності фізико-механічних властивостей композиційного матеріалу, а також геометричних розмірів його елементів. Проведено опис отриманих залежностей з їх статистичними оцінками.

Ключові слова: акустична емісія, композиційний матеріал, поперечна сила, тривалість, закономірність, залежність, руйнування, елемент.

Установлено закономерности изменения временных параметров формируемых сигналов акустической эмиссии в зависимости от скорости нагружения, неоднородности физико-механических свойств композиционного материала, а также геометрических размеров его элементов. Проведено описание полученных закономерностей с их статистическими оценками.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, композиционный материал, поперечная сила, длительность, закономерность, зависимость, разрушение, элемент.

The regularities of changes in time parameters of acoustic emission signals which depend from the speed of loading, variations in the physical and mechanical properties of composite materials, as well as the geometric sizes of its elements were determined. A description of the obtained regularities with their statistical estimates was conducted.

Keywords: acoustic emission, composite material, shear load, dependence, law of change, destruction, element.

Постановка проблеми. Композиційні матеріали (КМ) мають широке використання в різних видах техніки завдяки своїм високим фізико-механічним властивостям – зносостійкість, жароміцність, теплостійкість тощо. Одним з напрямів забезпечення надійності виробів