

УДК 004.056.5

І. І. Бобок, канд. техн. наук

Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса

МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ, ПЕРЕЗБЕРЕЖЕНИХ У ФОРМАТ БЕЗ ВТРАТ З ФОРМАТУ З ВТРАТАМИ

Несанкціоновані зміни цифрового зображення (ЦЗ) вимагають його наступного збереження в деякому форматі, можливо відмінному від вхідного. Виявлення результатів перезбереження ЦЗ з одного формату в іншій є непрямим показником на порушення його цілісності. У роботі на основі нового підходу до проблеми виявлення порушення цілісності зображення, заснованого на аналізі нормованого вектора сингулярних чисел і лівого (правого) сингулярних векторів, що відповідають максимальному сингулярному числу, блоків його матриці, розроблений метод відділення ЦЗ, спочатку збережених у форматі без втрат, від зображень, перезбережених у формат без втрат з формату із втратами, що перевершує по ефективності сучасні аналоги. Розроблений метод може бути використаний самостійно, а також як складова частина процесу стеганоаналізу ЦЗ.

Ключові слова: *цифрове зображення, формат збереження з втратами, формат збереження без втрат, порушення цілісності, сингулярні числа.*

Вступ. Одним з основних критеріїв захищеності інформації є її цілісність. Використання інформаційного контенту з метою, що відрізняється від розважальної, можливо тільки в тому випадку, якщо його цілісність не порушена. Інакше це може привести до непоправних негативних наслідків не тільки для окремо взятої людини, але й для суспільства в цілому. У силу цього в даний момент надзвичайно актуальною є проблема перевірки цілісності будь-якого інформаційного контенту, зокрема, цифрових зображень (ЦЗ), які часто використовуються в судових розслідуваннях, пресі, наукових статтях і т.д. [1–3].

Несанкціоновані зміни ЦЗ вимагають його наступного збереження в деякому форматі, що приводить до того, що виявлення результатів самого процесу перезбереження ЦЗ з одного формату в іншій є непрямим показником на порушення його цілісності, тому може бути використаним при розробці відповідних методів і алгоритмів [4].

Частковим випадком несанкціонованої зміни ЦЗ є його стеганоперетворення [5, 6], у той час, як стеганоаналіз, основною задачею якого є виявлення наявності додаткової інформації в контенті, є частковим випадком виявлення порушення цілісності розглянутого контенту. Таким чином, підвищення ефективності стеганоаналізу очеви-

дно приведе до більш ефективної організації процесу виявлення порушень цілісності ЦЗ в цілому.

У цей час збереження й передача ЦЗ по каналах зв'язку, враховуючи значне збільшення обсягів інформації, здійснюється, як правило, у форматах з втратами (ФЗВ). Це приводить до того, що такі ЦЗ використовуються як контейнери й при організації прихованого каналу зв'язку, наприклад, за допомогою методу модифікації найменшого значущого біта (LSB), що залишається на сьогоднішній день широко застосовуваним [6]. Однак у цей час застосування LSB має специфіку, що значно ускладнює процес його стегааналізу: метод використовується з малою пропускнуною спроможністю прихованого каналу зв'язку [7]. Враховуючи, що збереження стегаановідомлення, сформованого методом модифікації найменшого значущого біта, після вбудови додаткової інформації, що пересилається, відбувається, як правило, у формат без втрат (ФБВ), непрямым показником на несанкціоновані дії із зображенням може служити виявлення результатів процесу перезбереження ЦЗ з форматах із втратами у формат без втрат. Дійсно, само по собі таке перезбереження ніяк не змінює якість ЦЗ, оскільки не змінює його матрицю, однак значно збільшує його розмір при збереженні. Тому проведення такої операції очевидно є наслідком порушення цілісності ЦЗ.

Методи відділення ЦЗ, збережених у ФБВ спочатку, від перезбережених у ФБВ з ФЗВ вже пропонувалися у відкритих джерелах [8, 9], однак ефективність цих методів не є задовільною при проведенні стегааналізу.

Нещодавно в [10] був розроблений новий підхід до розв'язку проблеми виявлення порушень цілісності ЦЗ, що добре зарекомендував себе на практиці. Підхід заснований на аналізі нормованого вектора сингулярних чисел (СНЧ) і лівого й правого сингулярних векторів (СНВ), що відповідають максимальному СНЧ, 4×4 -блоків ЦЗ, отриманих шляхом стандартної розбивки його матриці [11]. У ході розробки підходу встановлено, що чутливість лівого (правого) СНВ u_1 (v_1), що відповідають максимальному СНЧ σ_1 блоків не залежить від формату збереження ЦЗ, а нормований вектор СНЧ у блоках ЦЗ у ФБВ є менш чутливим до збурних дій, ніж у відповідних блоках відповідного ЦЗ у ФЗВ, у силу цього характерні риси поведінки саме вектора СНЧ блоку принципово можуть дати можливість відрізнити формати збереження відповідних ЦЗ. В [10] також встановлено, що для оригінального ЦЗ кут між нормованим вектором СНЧ і першим вектором $e_1 = (1, 0, 0, 0)^T$ стандартного базису простору R^4 у більшості його блоків близький до нуля, однак детального аналізу величини цього кута для ЦЗ у ФЗВ і ФБВ проведено не було. Результати такого

аналізу дадуть можливість для розробки на їхній основі нового ефективного методу відділення ЦЗ, збереженого у ФБВ спочатку, від зображення, перезбереженого у ФБВ із ФЗВ.

Мета статті і постановка досліджень.

Метою роботи є підвищення ефективності процесу виявлення несанкціонованих змін ЦЗ шляхом розробки методу відділення ЦЗ, збережених у ФБВ спочатку, від ЦЗ, перезбережених у ФБВ із ФЗВ, на основі загального підходу до проблеми виявлення порушень цілісності ЦЗ, розробленого в [10].

Для досягнення мети в роботі вирішуються наступні **задачі**:

1. Провести аналіз величин кутів між нормованим вектором СНЧ і e_1 4×4 -блоків для відповідних ЦЗ у ФЗВ і ФБВ, на основі якого визначити характерні риси розглянутих кутів для кожного з форматів (ФЗВ, ФБВ);
2. Провести аналіз величин кутів між нормованим вектором СНЧ і e_1 4×4 -блоків для ЦЗ, що спочатку зберігаються у ФБВ/ФЗВ після їх перезбереження у ФЗВ із різними коефіцієнтами якості;
3. На основі результатів розв'язку задач 1, 2 розробити метод і його алгоритмічну реалізацію для відділення ЦЗ, збереженого у ФБВ спочатку, від ЦЗ, перезбереженого у ФБВ із ФЗВ.

Основна частина. Не обмежуючи спільності міркувань, далі для визначеності в якості ФБВ використовується Tif, ФЗВ — Jрег, у якості формального представлення ЦЗ розглядається одна прямокутна $m \times n$ -матриця.

Нехай матриця оригінального ЦЗ в ФБВ — F_T , а матриця відповідного йому ЦЗ, отриманого шляхом перезбереження в ФЗВ, — F_J . Довільний 4×4 -блок F_T / F_J позначимо B_T / B_J відповідно. Показано [12], що СНЧ відповідних блоків матриць відповідних ЦЗ у форматах із втратами й без втрат будуть певним чином відрізнятися, зокрема, для B_T і B_J з СНЧ $\sigma_1(B_T) \geq \sigma_2(B_T) \geq \sigma_3(B_T) \geq \sigma_4(B_T) \geq 0$ і $\sigma_1(B_J) \geq \sigma_2(B_J) \geq \sigma_3(B_J) \geq \sigma_4(B_J) \geq 0$ відповідно:

$$\begin{aligned} & (\sigma_2(B_T))^2 + (\sigma_3(B_T))^2 + (\sigma_4(B_T))^2 > \\ & > (\sigma_2(B_J))^2 + (\sigma_3(B_J))^2 + (\sigma_4(B_J))^2. \end{aligned} \quad (1)$$

При використанні Jрег з коефіцієнтами якості $QF \geq 65$ значення $\sigma_1(B_T) \approx \sigma_1(B_J)$. Це з врахуванням (1) приводить до наступного. Позначимо:

$$\sigma_T = (\sigma_1(B_T), \sigma_2(B_T), \sigma_3(B_T), \sigma_4(B_T))^T,$$

$$\sigma_J = (\sigma_1(B_J), \sigma_2(B_J), \sigma_3(B_J), \sigma_4(B_J))^T, \quad \bar{\sigma}_T = \frac{\sigma_T}{\|\sigma_T\|}, \quad \bar{\sigma}_J = \frac{\sigma_J}{\|\sigma_J\|},$$

тоді:

$$\angle(e_1, \bar{\sigma}_T) > \angle(e_1, \bar{\sigma}_J), \quad (2)$$

де $\angle(e_1, \bar{\sigma}_T)$, $\angle(e_1, \bar{\sigma}_J)$ — величини кутів між векторами $\bar{\sigma}_T$ і e_1 , $\bar{\sigma}_J$ і e_1 відповідно.

З урахуванням специфіки організації процесу стиску (формування елементів матриць квантування [11]) можна стверджувати, що чим нижче буде коефіцієнт якості QF , тобто чим сильніше буде стиск, тим менше буде сукупний енергетичний внесок другого, третього й четвертого СНЧ у відповідний блок ЦЗ [12], що приведе до зменшення кута між нормованим вектором СНЧ у блоці й вектором e_1 із зменшенням QF .

Для перевірки співвідношення (2) на практиці в середовищі Matlab був проведений обчислювальний експеримент, у якому було задіяні 400 ЦЗ, спочатку збережених у форматі Tif, які в ході експерименту перезберегалися в Jpeg з $QF \in \{65, 70, 75, 80, 85, 90\}$. Значення коефіцієнтів якості були обрані як найбільш часто використовувані на практиці.

Введемо наступні позначення: k — середнє по блоках зображення значення $\angle(e_1, \bar{\sigma}_T)$; $k_{(i)}$, $i \in \{65, 70, 75, 80, 85, 90\}$, — кількісні показники, аналогічні k , але для відповідних ЦЗ в форматі Jpeg з $QF \in \{65, 70, 75, 80, 85, 90\}$.

У результаті експерименту для 95% відповідних ЦЗ було зафіксовано монотонне спадання середнього значення величини розглянутих кутів зі зменшенням значення QF , як і було відзначено вище:

$$k \geq k_{(90)} \geq k_{(85)} \geq k_{(80)} \geq k_{(75)} \geq k_{(70)} \geq k_{(65)}. \quad (3)$$

В результаті обчислювального експерименту по всім ЦЗ було встановлено, що $k \in [0.239, 6.40]$, $k_{(90)} \in [0.12, 4.56]$, $k_{(85)} \in [0.09, 2.78]$, $k_{(80)} \in [0.05, 2.71]$, $k_{(75)} \in [0.035, 2.56]$, $k_{(70)} \in [0.025, 2.46]$, $k_{(65)} \in [0.011, 2.32]$, при цьому $k_{sr} = 1.87$, $k_{(90)sr} = 1.12$, $k_{(85)sr} = 1.01$, $k_{(80)sr} = 0.941$, $k_{(75)sr} = 0.907$, $k_{(70)sr} = 0.856$, $k_{(65)sr} = 0.818$, де k_{sr} , $k_{(i)sr}$, $i \in \{65, 70, 75, 80, 85, 90\}$ — середні значення k , $k_{(i)}$ по всім ЦЗ відповідно.

Таким чином, як і очікувалося:

$$k_{sr} > k_{(90)sr} > k_{(85)sr} > k_{(80)sr} > k_{(75)sr} > k_{(70)sr} > k_{(65)sr}.$$

Отримані результати, будучи в повній відповідності з теоретичними висновками, зробленими вище, як видно, не завжди дадуть мо-

жливість відділити ЦЗ, збережені у ФБВ спочатку й перезбережені із ФЗВ, оскільки області, яким належать $k_{(i)}$, $i \in \{65, 70, 75, 80, 85, 90\}$, мають непусті перетинання з областю, якій належить k , що потребує проведення додаткових досліджень для досягнення поставленої мети.

Нехай A — аналізоване ЦЗ, яке формально зберігається у форматі Tif, а фактично воно може бути як оригінальним, так і перезбереженим в Tif з Jpeg. Піддамо його стиску із втратами. Для A це може бути як первинний стиск (у першому випадку), так і повторний (у другому). У цих випадках аналізовані параметри ЦЗ A відреагують на збурну дію по-різному. Дійсно, якщо A вже зберігалось у ФЗВ до перезбереження у ФБВ, то частина/всі високочастотні (можливо, середньочастотні) коефіцієнти в блоках вже обнулялися в результаті квантування й округлення, що вже привело до порівнянності з нулем найменших СНЧ у блоках, а тому при повторному стиску для нього співвідношення, аналогічне (3) (зменшення середньої по блоках величини кута між нормованим вектором СНЧ і e_1), буде мати місце тільки у випадку, коли значення коефіцієнта якості QF при первинному стиску значно перевищує значення QF при повторному (наприклад, $QF = 85$ при первинному й $QF = 65$ при повторному стиску), оскільки в цьому випадку відбудеться помітне зменшення внеску високих (і можливо) середніх частот у блок, а значить буде значне зменшення суми квадратів другого, третього й четвертого СНЧ у блоці, що приведе до зменшення розглянутого кута в результаті стиску. При близьких значеннях QF , як і у випадку, коли QF при повторному стиску Jpeg-ЦЗ буде більше, ніж при первинному, співвідношення (3) буде порушуватися, зберігаючи при цьому порівнянність величин розглянутих кутів. Дійсно, у силу особливостей машинної арифметики (наявність округлень при роботі з дійсними числами), а також округлень до цілих значень яскравостей пікселів при поверненні ЦЗ із частотної області в просторову в процесі стиску, СНЧ зміняться в порівнянні з тим, якими вони були безпосередньо після квантування й округлення частотних коефіцієнтів, зокрема, нульові СНЧ стануть малими по величині, але ненульовими. Процес стиску ЦЗ із близьким значенням QF (або більшим, у порівнянні з первинним, QF) не змінить суттєво результат процесу квантування, що вже мав місце, практично не збільшуючи кількість нульових частотних коефіцієнтів після повторного квантування, з наявністю тих же особливостей машинної арифметики. Навіть якщо значення QF повторного і первинного стиску (для Jpeg-ЦЗ) значно відрізняються, зменшення кута при переході ЦЗ Tif \rightarrow Jpeg (з конкретним значенням QF) буде більше, ніж при переході Jpeg \rightarrow Jpeg (з тим же конкретним значенням QF), оскільки первинний стиск Tif-ЦЗ більше змінить частотні коефіцієнти блоків, ніж стиск із тим же QF , але Jpeg-ЦЗ.

Для практичного підтвердження зроблених висновків був проведений обчислювальний експеримент, у якому була задіяна множина ЦЗ, введена вище.

Позначимо через K відношення середніх значень по 4×4 -блоках ЦЗ кутів між нормованим вектором СНЧ і вектором e_1 у вхідному аналізованому ЦЗ і ЦЗ, отриманому після Perezбереження вхідного у формат Jpeg, K_{\min} , K_{\max} , K_{sr} — відповідно мінімальне, максимальне, середнє значення K по всім ЦЗ в експерименті.

Результати обчислювального експерименту, які знаходяться у повній відповідності з вищесказаним, для конкретних найбільш часто використовуваних значень $QF \in \{65, 75, 85\}$ наведені в табл. 1.

Як видно з табл. 1, при Perezбереженні ЦЗ з ФЗВ в ФЗВ з тим же значенням QF величина кута практично не змінюється: $K_{sr} \approx 1$. Цей факт буде використаний для реалізації можливості визначення в розробленому в роботі методі, з яким саме коефіцієнтом якості QF спочатку (до Perezбереження у ФБВ) було збережено ЦЗ. Необхідно відзначити, що така можливість не надавалася жодним з існуючих методів відділення оригінального ЦЗ у ФБВ від ЦЗ, Perezбереженого у ФБВ із ФЗВ, інформація про які доступна з відкритих джерел.

Таблиця 1

Відносна зміна величини кута між нормованим вектором СНЧ і вектором e_1 в 4×4 -блоках ЦЗ при його Perezбереженні в ФЗВ з різними коефіцієнтами якості QF

	Tif \rightarrow Jpeg($QF = 85$)	Tif \rightarrow Jpeg($QF = 75$)	Tif \rightarrow Jpeg($QF = 65$)
K_{\min}	1.095596	1.102703	1.114754
K_{\max}	2.87472	7.118644	21.72727
K_{sr}	1.933565	2.507044	3.8571
	Jpeg($QF = 85$) \rightarrow Jpeg($QF = 85$)	Jpeg($QF = 85$) \rightarrow Jpeg($QF = 75$)	Jpeg($QF = 85$) \rightarrow Jpeg($QF = 65$)
K_{\min}	0.990783	0.67=8571	1.071006
K_{\max}	1.005291	0.854128	3.422053
K_{sr}	0.999469	0.764879	1.528203
	Jpeg($QF = 75$) \rightarrow Jpeg($QF = 85$)	Jpeg($QF = 75$) \rightarrow Jpeg($QF = 75$)	Jpeg($QF = 75$) \rightarrow Jpeg($QF = 65$)
K_{\min}	0.730769	0.714685	0.642767
K_{\max}	0.977226	1.019417	0.898058
K_{sr}	0.924094	0.98638	0.835703
	Jpeg($QF = 65$) \rightarrow Jpeg($QF = 85$)	Jpeg($QF = 65$) \rightarrow Jpeg($QF = 75$)	Jpeg($QF = 65$) \rightarrow Jpeg($QF = 65$)
K_{\min}	0.380137	0.38676	0.376271
K_{\max}	1.149123	1.259615	1.091667
K_{sr}	1.014699	1.089833	0.971889

З врахуванням вищесказаного основні кроки запропонованого методу, що далі називається МТJ, відділення оригінального ЦЗ у ФБВ від ЦЗ, яке Perezбережено у ФБВ із ФЗВ, наступні.

Нехай A — аналізоване ЦЗ, яке формально зберігається у форматі Tif.

Крок 1. Perezберегти ЦЗ A в формат Jpeg з різними коефіцієнтами якості $QF_i \in \{1, 2, 3, \dots, 100\}$, $i = \overline{1, t}$. Результат — ЦЗ A_i , $i = \overline{1, t}$.

Крок 2. Для кожної пари ЦЗ виду A, A_i , $i = \overline{1, t}$, визначити значення K .

Крок 3. Якщо серед обчислених значень K існує таке, що

$$K < 1,$$

то

A — ЦЗ, Perezбережене в ФБВ з ФЗВ,

інакше

A — ЦЗ в ФБВ.

Крок 4. Якщо A — ЦЗ, Perezбережене в ФБВ з ФЗВ,

то

визначити значення QF_j таке, що для відповідного A_j значення K найменше відрізняється від 1. QF_j — коефіцієнт якості, що дорівнює / близький до того, з яким в Jpeg спочатку зберігалось аналізоване ЦЗ.

При алгоритмічній реалізації методу необхідно враховувати, що чим більше діапазон і кількість різних використовуваних значень QF_i , тим більше ймовірність того, що знайдеться таке значення QF_i , яке буде незначно відрізнятися від реального значення коефіцієнта якості при первинному стиску ЦЗ (якщо воно спочатку було у ФЗВ), а наслідком цього буде порушення (3), що й буде зафіксовано алгоритмом. Для ЦЗ у ФБВ монотонне спадання/зростання разом зі зменшенням/збільшенням коефіцієнта якості при його Perezбереженні у ФЗВ у ході роботи алгоритму буде мати місце незалежно від безпосередніх значень QF_i і їх кількості t .

Для перевірки ефективності методу МТJ програмно був реалізований відповідний алгоритм, для якого: $t = 6$, $QF_i = 65 + 5(i - 1)$, $i = \overline{1, 6}$. Результати тестування алгоритму й порівняння його ефективності з аналогами з погляду виявлення ЦЗ, Perezбережених із ФЗВ у ФБВ, представлені в табл. 2. Для порівняння були взяті методи-аналоги, що далі позначаються M1 [8], M2 [9]. У якості аналізованих використовувалися 400 оригінальних ЦЗ, спочатку збережених у форматі Tif, і зображення, що їм відповідають, отримані після збереження в Jpeg з $QF \in \{65, 70, 75, 80, 85, 90\}$ з наступним Perezбереженням в Tif.

Як видно з табл. 2, розроблений у роботі метод МТJ значно перевищує сучасні аналоги по ефективності, оцінюваній за допомогою помилок 1-го (коли Perezбережене із ФЗВ ЦЗ визначається як таке, яке зберігалося у ФБВ спочатку) і 2-го (оригінальне ЦЗ у ФБВ визначається як Perezбережене із ФЗВ) роду: помилки 1-го роду вдалося зменшити в 6 раз у порівнянні із кращим аналогічним показником. Помилки 2-го роду порівнянні із кращим наявним аналогом.

Таблиця 2

Показники ефективності методів відділення оригінального ЦЗ у ФБВ від ЦЗ, Perezбереженого у ФБВ із ФЗВ

Метод	М1 (2013)	М2 (2016)	МТJ (2017)
Помилки 1-го роду (%)	4.6	3	0.5
Помилки 2-го роду (%)	7.1	4.5	5

Типова й очікувана у світлі вищесказаного поведінка величини розглянутого кута при Perezбереженні аналізованого ЦЗ *A* в формат Jpeg з різними коефіцієнтами якості *QF* представлена на рис. 1.

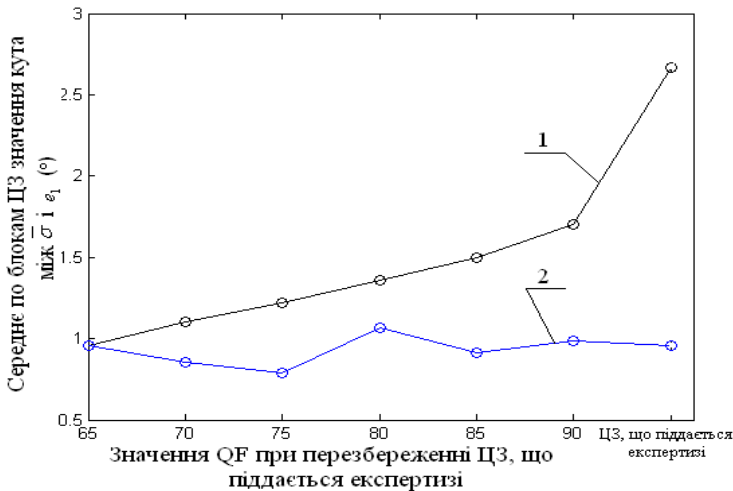


Рис. 1. Графік залежності середнього по блокам значення кута між нормованим вектором СНЧ і e_1 від величини коефіцієнта якості, використаного при Perezбереженні в Jpeg ЦЗ, що піддається експертизі: 1 — оригінальне ЦЗ, збережене в форматі Tif; 2 — ЦЗ, Perezбережене з формату Jpeg в формат Tif

У ході тестування алгоритмічної реалізації методу МТJ для ЦЗ, які були визначені як Perezбережені у ФБВ із ФЗВ, визначалося значення коефіцієнта якості, який був використаний при їхньому первинному стиску. У результаті обчислювального експерименту для 92.5% зображень коефіцієнт якості був визначений вірно.

Висновки. У роботі на основі загального підходу до проблеми виявлення порушень цілісності ЦЗ [10] розроблений новий метод відділення ЦЗ, збережених у ФБВ спочатку, від ЦЗ, Perezзбережених у ФБВ із ФЗВ, алгоритмічна реалізація якого перевищує по ефективності, що оцінюється помилками 1-го й 2-го роду, сучасні аналоги: помилки 1-го роду складають 0.5%, що в 6 разів менше аналогічного показника кращого з аналогів, помилки 2-го роду становлять 5%. Це дало можливість підвищити ефективність процесу виявлення несанкціонованих змін ЦЗ у цілому.

Метод МТЖ ефективно (більш, ніж для 90% ЦЗ) визначає коефіцієнт якості, використаний при первинному стиску для ЦЗ, Perezзбережених у ФБВ із ФЗВ, що не робиться жодним з існуючих аналогів.

Розроблений метод може бути використаний самостійно, а також як складова частина процесу стеганоаналізу не тільки ЦЗ, але й кадрів цифрового відео, що розглядаються як послідовність зображень.

Список використаних джерел:

1. Joglekar N. P. A compressive survey on active and passive methods for image forgery detection / N. P. Joglekar, P. N. Chatur // *International Journal of Engineering and Computer Science*. — 2015. — № 4 (1). — P. 10187–10190.
2. Mahdian B. A bibliography on blind methods for identifying image forgery / B. Mahdian, S. Saic // *Signal Processing: Image Communication*. — 2010. — № 25 (6). — P. 389–399.
3. Ansari M. D. Pixel-based image forgery detection: A review / M. D. Ansari, S. P. Ghreya, V. Tyagi // *IETE Journal of Education*. — 2014. — № 55 (1). — P. 40–46.
4. Chen Y.-L. Detecting recompression of JPEG images via periodicity analysis of compression artifacts for tampering detection / Y.-L. Chen, C.-T. Hsu // *IEEE Trans. Inf. Forensics Secur.* — 2011. — № 6 (2). — P. 396–406.
5. Бобок И. И. Детектирование наличия возмущений матрицы цифрового изображения как составная часть стеганоанализа / И. И. Бобок // *Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля*. — 2011. — № 7(161). — С. 32–41.
6. Стеганография, цифровые водяные знаки и стеганоанализ / А. В. Аграновский, А. В. Балакин, В. Г. Грибунин, С. А. Сапожников. — М.: Вузовская книга, 2009. — 220 с.
7. Бобок И. И. Метод оценки величины скрытой пропускной способности канала, сформированного методом модификации наименьшего значащего бита / И. И. Бобок // *Інформатика та математичні методи в моделюванні*. — 2013. — № 3 (4). — С. 323–330.
8. Бобок И. И. Выявление цифровых изображений, пересохраненных в формат без потерь из формата с потерями, как составная часть стеганоанализа / И. И. Бобок // *Сучасна спеціальна техніка*. — 2013. — № 3. — С. 64–70.
9. Akhmetieva A. V. Method of detection the fact of compression in digital images as an integral part of steganalysis / A. V. Akhmetieva // *Informatics and Mathematical Methods in Simulation*. — 2016. — № 6 (4). — P. 357–364.
10. Kobozeva A. A. General principles of integrity checking of digital images and application for steganalysis / A. A. Kobozeva, I. I. Bobok, A. I. Garbuz // *Transport and Telecommunication*. — 2016. — № 17 (2). — P. 128–137.

11. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. — М. : Техносфера, 2006. — 1070 с.
12. Кобозева А. А. Анализ информационной безопасности / А. А. Кобозева, В. А. Хорошко. — К. : ГУИКТ, 2009. — 251 с.

Unauthorized changes of the digital image require its subsequent saving in some file format which may be different from the original one. The detection of the re-saving image from one format to another is an indirect indication of its integrity violation. The method of separating digital images that originally saved in lossless format from images that were re-saved in lossless from lossy format was developed. The proposed method based on analysis of the normalized vector of singular values and left (right) singular vectors, corresponding to the maximal singular value, of blocks of image matrix. The developed method can be used independently as well as an integral part of the steganalysis process.

Key words: *digital image, lossy compression, lossless compression, integrity violations, singular values.*

Отримано: 20.10.2017

УДК 004.94

А. М. Божок, канд. техн. наук*,
В. А. Іванюк, канд. техн. наук**,
В. В. Понеділок, старший викладач**

*м. Кам'янець-Подільський,

**Кам'янець-Подільський національний університет
імені Івана Огієнка, м. Кам'янець-Подільський

АПАРАТНО-ОРІЄНТОВАНИЙ РЕГУЛЯРИЗАЦІЙНИЙ МЕТОД ДИФЕРЕНЦІЮВАННЯ СИГНАЛІВ

У статті запропоновано апаратно-орієнтований метод диференціювання сигналів на основі регуляризаційного оператора. Наведено принципову схему корегуючого гідропневматичного пристрою та рекомендації щодо його проектування за допомогою розглянутого методу. На основі обчислювальних експериментів досліджено ефективність регуляризаційного методу та вплив величини завади на отриманий розв'язок.

Ключові слова: *чисельне диференціювання, відновлення сигналів, передатна функція, Matlab, регуляризація, гідропневматичний корегуючий пристрій.*

Вступ. Операції цифрового диференціювання в алгоритмах керування сучасними технічними системами використовуються досить широко в зв'язку з активним впровадженням цифрових технічних засобів. Операції чисельного диференціювання застосовуються, як в традиційних регуляторах, так і при реалізації більш складних законів регулювання, наприклад, в системах зі змінною структурою, при реалізації оптималь-