

UDC 621.327:621.391

# МОДИФИЦИРОВАННОЕ ЗОНАЛЬНОЕ КОДИРОВАНИЕ ТРАНСФОРМАНТ МАЛОРЕСУРСНОГО СТЕГАНОАЛГОРИТМА

Дмитрий Морозов, Сергей Малахов

Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, пл. Свободы, 4, г. Харьков, 61022, Украина  
[ikurortnik@gmail.com](mailto:ikurortnik@gmail.com), [mailgate@meta.ua](mailto:mailgate@meta.ua)

Рецензент: Георгий Кучук, д.т.н., проф., Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичова, 21, Харьков, Украина, 61000.  
[kuchuk56@mail.ru](mailto:kuchuk56@mail.ru)

Поступила в июне 2017

***Аннотация.** Представлены результаты моделирования процесса сжатия полутоновых изображений посредством модифицированной зональной селекции коэффициентов преобразования. Для обработки трансформант применены два способа группировки коэффициентов. Реализовано последовательное укрупнение сформированных зон и поэтапное уменьшение количества сохраняемых коэффициентов. Выполнен анализ зависимости искажений от варианта обработки трансформант. Рассмотренные процедуры являются первым этапом малоресурсного стеганоалгоритма.*

***Ключевые слова:** видеоданные, кодирование с преобразованием, зональное кодирование, стеганография.*

## 1 Введение

Задача сокращения объема цифрового описания видеоданных при их передаче, хранении и использовании различных стеганографических методик, сопровождает все этапы развития систем обработки и передачи информации на протяжении всей их эволюции. При этом подавляющее большинство существующих форматов компактного представления видеоданных базируется на использовании внутрикадрового и межкадрового методов кодирования с преобразованием [1-3]. Кодирование с преобразованием относится к группе методов сжатия с частичной потерей качества восстанавливаемых изображений. Однако применяемые в них способы отбора (селекции) значимых коэффициентов преобразования во многих случаях не обеспечивают требуемой детальности восстанавливаемых изображений. Наиболее характерно это проявляется при внутрикадровой обработке полутоновых изображений (256 градаций серого), что обусловлено большей чувствительностью зрительной системы человека к изменениям градаций яркости, нежели градаций цвета [1,3]. Это обстоятельство, в определенной степени, затрудняет задачу инкапсуляции стеганоконтента в изображение - стеганоконтейнер [4]. Поэтому уменьшение величины искажений восстанавливаемых (декодируемых) полутоновых изображений при сохранении высокой степени сжатия исходного массива данных является актуальной задачей и обеспечивает благоприятные условия для успешного встраивания стеганоконтента.

Анализ различных источников, касающихся рассматриваемой тематики, показал, что задача селекции коэффициентов преобразования чаще всего решается путем использования зонального и порогового методов. Каждый из них имеет свои положительные и отрицательные стороны [1,3,5,6]. Так, зональный метод характеризуется: – большей устойчивостью сжатого массива данных к воздействию помех и ошибок, возникающих в каналах связи при их передаче; – относительной простотой реализации кодера и декодера; – постоянной скоростью потока данных на выходе кодера. Поэтому данный метод чаще применяется в системах, функционирующих в масштабе времени, близком к реальному, или системах (устройствах) ориентирующихся на малоресурсную обработку данных (*различные мобильные платформы*).

В отличие от него пороговый метод обеспечивает улучшенное качество восстановления исходных данных. Однако при его реализации особое внимание следует обратить на

точность позиционирования (адресации) значимых коэффициентов преобразования, вследствие чего несколько возрастает сложность алгоритма обработки и увеличивается объем цифрового описания сжатого массива видеоданных. Кроме того, для поддержания постоянной скорости передачи данных желателен использование буфера. Таким образом, пороговый метод реализует адаптивный к локальной статистике обрабатываемых изображений отбор значимых коэффициентов преобразования, однако проявляет повышенную чувствительность к ошибкам адресации сохраняемых компонент трансформант и несколько сложнее в своей реализации [3].

Анализ профильной тематики и проведенное экспериментальное моделирование позволяют утверждать, что во многих случаях (идентификация объектов динамических изображений в режиме «стоп кадр» или сложная структура передаваемой сцены и др.) зональный метод не обеспечивает достаточной точности восстановленных репродукций и ограничивает возможности по встраиванию стеганоконтента в изображение-контейнер обработанный традиционным образом. С учетом бурного развития мобильных платформ и широким распространением приложений для них представляет практический интерес создание легковесного алгоритма обработки, обеспечивающего улучшенные исходные условия для последующей инкапсуляции стеганоконтента в обработанное соответствующим образом изображение-контейнер.

Целью статьи является представление результатов моделирования процессов модифицированной зональной обработки трансформант полутоновых изображений со сложной структурой при проведении внутрикадрового кодирования с преобразованием. Данную процедуру следует рассматривать как условие для последующей успешной реализации легковесного алгоритма стеганографической обработки изображений (*ориентированного на использование в рамках различных мобильных платформ*). Таким образом, основную цель проведенных экспериментов можно сформулировать, как минимизация величины искажений восстанавливаемых видеоданных при использовании относительно простых программно-аппаратных решений и сохранении высоких степеней компрессии.

## 2 Основная часть

Модель селекции коэффициентов преобразования при реализации зонального кодирования заключается в следующем. Если через  $I_t$  обозначить адреса передаваемых коэффициентов трансформант ( $y_{u,v}$ )

$$I_t = \{(u, v); |y_{u,v}| \geq 1\}, \quad (1)$$

то можно определить функцию зонального маскирования (Zonal)

$$m(u, v) = \begin{cases} 1, & \text{где } u, v \in I_t; \\ 0, & \text{в противном варианте,} \end{cases} \quad (2)$$

которая равна 1 в зоне сосредоточения наибольших значений  $y_{u,v}$ . Таким образом, реализуется зональная селекция коэффициентов преобразования.

В ходе моделирования исследовалась возможность улучшения качества восстанавливаемых репродукций путем формирования в области трансформант, не охваченных функцией зонального маскирования (2), дополнительных зон (областей селекции - ОС) с заданной конфигурацией [6].

В рамках моделирования рассмотрены два способа формирования областей селекции коэффициентов трансформант (Рис.1). В отличие от известного метода «пирамиды Лапласа» в данном случае обеспечивается пропорциональное присутствие в каждой из формируемых зон контуров деталей изображения, имеющих вертикальную и горизонтальную протяженность, а также постепенное повышение пространственных частот спектра в каждой из зон. В обоих случаях все коэффициенты, формирующие область Zonal (Рис.1), округлялись до це-

лых и сохранялись с соответствующими им знаками. Далее, для каждой из оставшихся областей сохранялось среднее значение амплитуд составляющих ее коэффициентов. При декодировании, эти значения используются для восстановления трансформант.

Следует отметить, что амплитудный спектр содержит информацию о резкости изображения, а информация о наличии и положении световой границы заключена в его фазовом спектре [1,3]. Если искажения фазового спектра будут невелики, т.е. не вызовут исчезновения или появления новых световых границ, то изображение будет узнаваемым. К таким искажениям относятся процедуры дифференцирования (*подчеркивание границ*) и интегрирования (*расфокусировка*) [3]. Если же в результате какого-либо преобразования существенно искажается фазовый спектр изображения, то может произойти полная потеря его узнаваемости. Пример этого случая - воздействие флуктуационного шума большой мощности, что влечет за собой полное «размывание» световых границ. Очевидно, что при передаче видеоданных особое внимание следует уделить точности передачи фазового спектра. Поэтому при проведении экспериментов вся информация о фазовых составляющих сохранялась путем формирования отдельного массива матриц знаков (МЗ).

Уменьшение объема цифрового описания трансформант реализовано путем сокращения объема цифрового описания амплитудных составляющих. Он заключается в поэтапном ограничении количества сохраняемых значений, характеризующих среднюю амплитуду коэффициентов в каждой из зон, и реализуется за счет объединения соседних ОС коэффициентов трансформант (рис.1). При этом в ходе моделирования использовался механизм «высокочастотного» (ВЧ) объединения смежных зон [6]. В соответствии с ним процесс объединения зон инициируется в области группировки гармоник высших порядков и проводится в направлении области трансформант, охваченных функцией зонального маскирования (2), к изменению состава и величины которых наиболее чувствительна зрительная система человека [1,3]. Исходной (базовой) трансформантой  $F_N(U;V)$  при проведении экспериментов являлась матрица размером  $8 \times 8$  элементов. В общем случае, при выборе размера субблоков изображений следует руководствоваться соображениями обеспечения баланса между требуемой степенью сжатия, вычислительной сложностью и текущим уровнем заряда батареи гаджета. При этом для базовой матрицы ( $F_7(U;V)$ ) возможно проведение шести шагов ( $\tau_{\max}$ ) по объединению смежных зон. При  $\tau = 5$  оба способа формируют трансформанту с одинаковой конфигурацией зон ( $F_2(U;V)$ ). На 6-м шаге формируется матрица  $F_1(U;V)$ , аналогичная Zonal (Рис.1). При этом чем больше ОС сформировано в базовой трансформанте, тем выше качество восстанавливаемого изображения.

В дополнение к уже введенным обозначениям, описывающим состояние трансформант, необходимо ввести следующее сокращение:  $kF_N(U;V)$  следует понимать, как: - трансформанта, сформированная  $k$ -м способом; - содержащая  $N$  областей селекции.

При восстановлении исходной информации проведение расчетов базовых матриц не требуется, а восстановление трансформант осуществляется в соответствии с информацией, записанной в маркере декодируемого кадра изображения. Очевидно, что процесс перехода от одного варианта к другому в обратном порядке не возможен, т.к. на каждом шаге алгоритма ( $\tau$ ) происходит потеря части информации, содержащейся в исходной базовой трансформанте. При этом среднеквадратичная ошибка (СКО) аппроксимации матрицы изображения  $X^*$  (с компонентами  $x_{ij}$ ), восстановленной посредством проведения модифицированной зональной селекции коэффициентов трансформант по отношению к исходной матрице  $X$ , определяется как

$$\begin{aligned} \varepsilon_a^2 &= E \left\{ \|X - X^*\|^2 \right\} = E \left\{ \left\| \sum_{u=1}^n \sum_{v=1}^n a_{ijuv} y_{uv} - \sum_{u=1}^n \sum_{v=1}^n a_{ijuv} y_{uv}^* \right\|^2 \right\} = \\ &= E \left\{ \left\| \left( \sum_{u=1}^n \sum_{v=1}^n (y_{uv} - y_{uv}^*) \right) \times \left( \sum_{u=1}^n \sum_{v=1}^n a_{ijuv} \right) \right\|^2 \right\} = \end{aligned}$$

$$= E \left\{ \left\| \left( \sum_{u=1}^n \sum_{v=1}^n (\Delta y_{uv}) \right) \times \left( \sum_{u=1}^n \sum_{v=1}^n a_{ijuv} \right) \right\|^2 \right\}, \tag{3}$$

где  $a_{ijuv}$  - компоненты унитарной матрицы, определяемые видом ортогонального преобразования;  $- y_{uv}^*$  - коэффициенты, восстановленные одним из рассматриваемых способов;  $- y_{uv}$  - коэффициенты исходной трансформанты, определяемые в результате проведения прямого преобразования

$$y_{uv} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{uvij} x_{ij}, \quad i, j = \overline{1, n}. \tag{4}$$

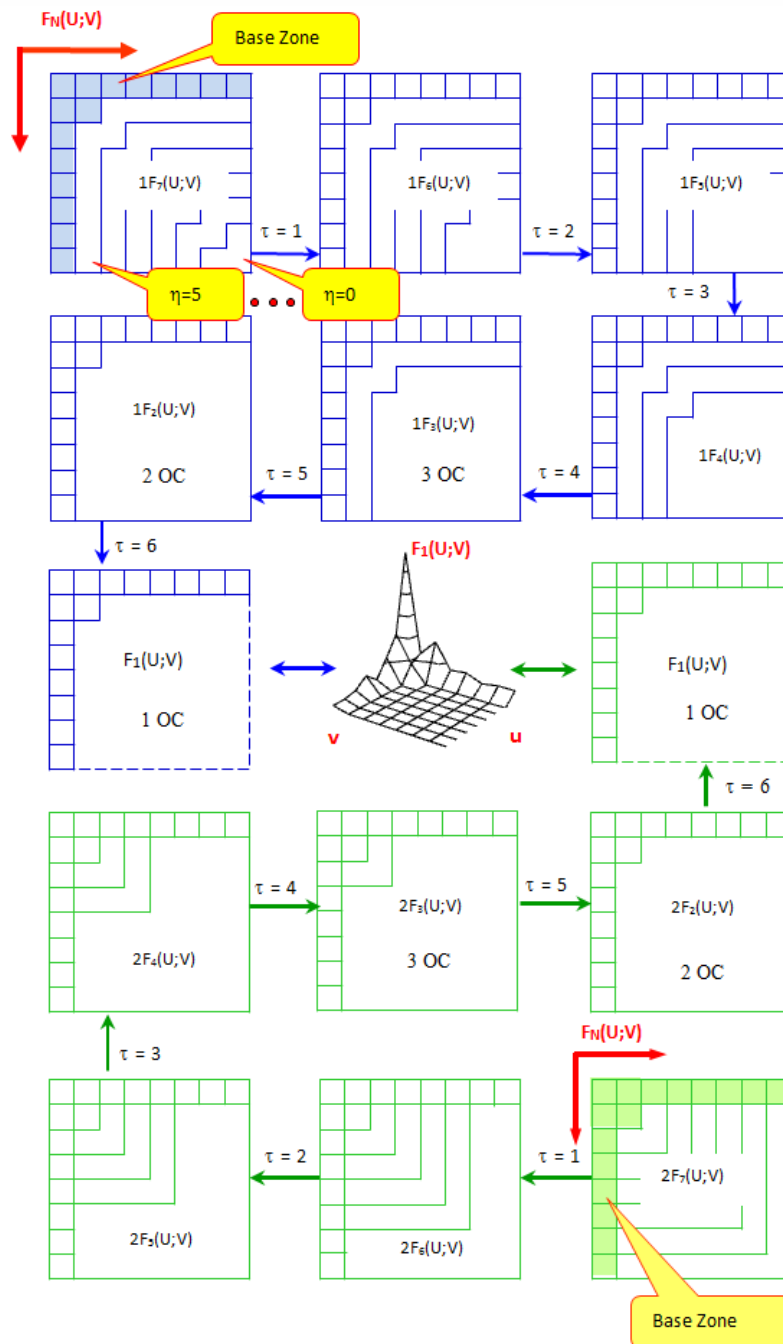


Рис.1 - Порядок объединения смежных зон для матрицы 8×8 элементов

Данное преобразование дает набор из  $n^2$  компонент, каждая из которых представляет собой линейную комбинацию элементов исходного изображения -  $X$ . Аналогично этому об-

ратное преобразование определяет каждый элемент изображения, как линейную комбинацию всех компонентов

$$x_{ij} = \sum_{u=1}^n \sum_{v=1}^n a_{ijuv} y_{uv}, \quad i, j = \overline{1, n}. \quad (5)$$

$\Delta y_{uv}$  - определяется из системы:

$$\begin{cases} \Delta y_{uv} = |y_{uv} - \lfloor y_{uv} \rfloor|, & \text{для } y_{uv} \in Zonal; \\ \Delta y_{uv} = \left| y_{uv} - \frac{\sum_{u=1}^{\Omega_\eta} \sum_{v=1}^{\Omega_\eta} y_{uv}}{2\Omega_\eta - 1} \right|, & \text{для } y_{uv} \notin Zonal, \end{cases} \quad (6)$$

где:  $| \cdot |$  - модуль величины;  $\lfloor \cdot \rfloor$  - округление результата в сторону уменьшения;  $\eta$  - порядковый номер сформированной зоны в каждой из трансформант. Их максимальное число определяется как

$$\eta_{\max} = n - (1 + \tau), \quad \tau = \overline{0, n-1}; \quad (7)$$

$\Omega_\eta$  - количество спектральных компонент в  $\eta$ -ой зоне трансформанты  $F_N(U;V)$ . Причем

$$\eta = \overline{0, \tau_{\min} - 1}, \quad (8)$$

где  $\tau_{\min}$  – оставшееся число шагов алгоритма по объединению смежных зон.

Так для трансформанты  $8 \times 8$  элементов в зависимости от используемого способа объединения смежных зон, количество спектральных компонент ( $\Omega_\eta$ ) в каждой из зон определяется из данных табл. 1

Таблица 1 - Количество компонент в зонах для матрицы  $8 \times 8$

1 спб.	$1F_7(U;V)$	$1F_6(U;V)$	$1F_5(U;V)$	$1F_4(U;V)$	$1F_3(U;V)$	$1F_2(U;V)$
$\eta=0$	$2n-13+2\eta$	$4n-24$	$6n-33$	$8n-40$	$10n-45$	$12n-48$
$\eta>0$	$2n-13+2\eta$	$21-2n+2\eta$	$23-2n+2\eta$	$25-2n+2\eta$	$27-2n+2\eta$	-
2 спб.	$2F_7(U;V)$	$2F_6(U;V)$	$2F_5(U;V)$	$2F_4(U;V)$	$2F_3(U;V)$	$2F_2(U;V)$
$\eta=0$	$2n-3-2\eta$	$4n-8$	$6n-15$	$8n-24$	$10n-35$	$12n-48$
$\eta>0$	$2n-3-2\eta$	$2n-5-2\eta$	$2n-7-2\eta$	$2n-9-2\eta$	$2n-11-2\eta$	-

В ходе моделирования степень отличия восстановленных изображений от их оригинала оценивалась по двум показателям: - СКО (3); - коэффициенту разницы –  $K_r$ . Коэффициент разницы связывает взятые по модулю значения разностей яркости элементов исходного и восстановленного блоков изображения ( $|\Delta x_{ij}|$ ) с их количеством:

$$K_r = \sum_{\Delta x_{ij}=5}^{\Delta x_{ij}=\max} \frac{n_\Delta}{|\Delta x_{ij}|}, \quad (9)$$

где  $n_\Delta$  – общее количество элементов восстановленного блока изображения, отличающихся от их оригинала на величину  $|\Delta x_{ij}|$  ( $i$  и  $j$  – координаты пикселя в блоке изображения). Причем, оценка проведена только для визуально фиксируемых изменений яркости, т.е. для случая, когда  $|\Delta x_{ij}| \geq 5$ .

На рис. 2 представлены зависимости, полученные по результатам проведенных экспериментов.

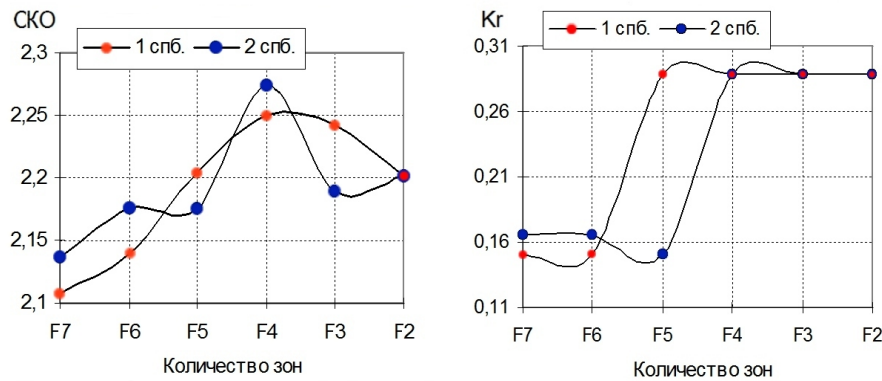


Рис. 2 – Изменение величины SKO и  $K_r$  в зависимости от режима обработки ОС

### 3 Выводы

1. В результате анализа полученных в ходе моделирования зависимостей можно утверждать, что характеристика  $K_r$ , по сравнению с SKO, носит более статичный характер, так как показатель  $K_r$  обладает меньшей чувствительностью к количеству и величине искажений с малой амплитудой. Это обусловлено тем, что при изменении параметров настроек алгоритма кодирования, увеличение ошибок с малой амплитудой происходит гораздо интенсивнее, чем для  $|\Delta x_{ij}| \geq 5$ . Однако, сопоставление зависимостей SKO и  $K_r$  говорит об одинаковом характере их изменения, что подтверждает правомерность использования показателя  $K_r$  для оценки визуально фиксируемой составляющей от общего количества ошибочно восстановленных элементов изображений.

2. Апробирован алгоритм обработки трансформант (10), обеспечивающий плавный рост искажений, ограниченный величиной ошибок, характерных для режима Zonal. В соответствии с ним каждый последующий шаг реализованного алгоритма представляет собой очередное упрощение базовой трансформанты, проводимое путем ВЧ объединения соседних ОС:

$$\begin{aligned}
 & 1F_7(U;V) \xrightarrow{\tau_a=1} 1F_6(U;V) \xrightarrow{\tau_a=2} 2F_5(U;V) \xrightarrow{\tau_a=3} \dots \\
 & \rightarrow 1F_4(U;V) \xrightarrow{\tau_a=4} 2F_3(U;V) \xrightarrow{\tau_a=5} F_2(U;V) \xrightarrow{\tau_a=6} \dots \\
 & \rightarrow \frac{F_1(U;V)}{\text{Zonal}}.
 \end{aligned} \tag{10}$$

3. Рассмотренный порядок обработки трансформант характеризуется простотой реализации, малой вычислительной сложностью и обеспечивает хорошие стартовые условия (*хорошие степень сжатия и SKO*) для последующей инкапсуляции стеганоконтента, обработанного подобным образом (*симметричная схема*). Для повышения стойкости ко взлому стеганоконтента разработан соответствующий алгоритм генерации масок обфускатора (*вопрос выходит за рамки данной статьи*), реализующий механизмы межблочного и внутриблочного перемешивания.

### Ссылки

1. Zubarev Yu.B. Tsifrovaya obrabotka televizionnykh i komp'yuternykh izobrazhenii / Yu.B. Zubarev, V.P. Dvorkovich. – Moskva: MTsNTI, 1997. – 212 s.
2. Shlikht G.Yu. Tsifrovaya obrabotka tsvetnykh izobrazhenii / G.Yu. Shlikht. – Moskva: EKOM, 1997. – 336 s.
3. Prett U. Tsifrovaya obrabotka izobrazhenii / U. Prett. – M.: Mir, 1985. – 736 s.
4. Gribunin V.G. Tsifrovaya steganografiya / V.G. Gribunin, I.N. Okov, I.V. Turintsev. – Moskva: Solon-Press, 2009. – 265 s.
5. Korolev A.V. Otsenka informativnosti transformant diskretnogo kosinusnogo preobrazovaniya / A.V. Korolev // Sistemi obrobki informatsii. – 2003. – Vip.3. – S. 81–85.
6. Malakhov S.V., Bukhantsov A.D. Zonal'noe kodirovanie izobrazhenii s razlichnym razbieniem prostranstvenno-chastotnoi oblasti / S.V. Malakhov, A.D. Bukhantsov // Sistemi obrobki informatsii. – 2001. – Vip. 4(14). – S. 121–125.



**Reviewer:** Georgiy Kuchuk, Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Computer Science and Programming, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", st. Kirpichova, 21, Kharkiv, Ukraine.

E-mail: [kuchuk56@ukr.net](mailto:kuchuk56@ukr.net)

Received: June 2017.

**Authors:**

Dmitriy Morozov, student, Faculty of Computer Science, V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkov, Ukraine.

E-mail: [ikurortnik@gmail.com](mailto:ikurortnik@gmail.com)

Sergey Malakhov, Ph.D., Senior Researcher, V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkov, Ukraine.

E-mail: [mailgate@meta.ua](mailto:mailgate@meta.ua)

**Modified zonal coding of transformants of low-resource steganography algorithm.**

**Abstract.** The results of modeling the process of compression of halftone images by means of a modified zonal selection of the transformation coefficients. To process transformants, two methods of grouping the coefficients are applied. Successive consolidation of the formed zones is realized and a phased reduction in the number of stored coefficients. The analysis of the dependence of distortions on the variant of processing transformants is performed. The procedures considered are the first stage of a low-resource steganography algorithm.

**Keywords:** video data, encoding with conversion, zonal encoding, steganography.

**Рецензент:** Георгій Кучук, д.т.н., проф., НТУ «ХПІ», Харків, Україна.

E-mail: [kuchuk56@ukr.net](mailto:kuchuk56@ukr.net)

Надійшло: Червень 2017.

**Автори:**

Дмитро Морозов, студент факультету комп'ютерних наук, ХНУ імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна.

E-mail: [ikurortnik@gmail.com](mailto:ikurortnik@gmail.com)

Сергій Малахов, к.т.н., с.н.с., ХНУ імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна.

E-mail: [mailgate@meta.ua](mailto:mailgate@meta.ua)

**Модифіковане зональне кодування трансформант малоресурсного стеганоалгоритма.**

**Анотація.** Представлені результати моделювання процесу стиснення півтонових зображень за допомогою модифікованої зональної селекції коефіцієнтів перетворення. Для обробки трансформант застосовані два способи угруповання коефіцієнтів. Реалізовано послідовне укрупнення сформованих зон і поетапне зменшення кількості збережених коефіцієнтів. Виконано аналіз залежності викривлень від варіанту обробки трансформант. Розглянуті процедури є першим етапом малоресурсного стеганоалгоритму.

**Ключові слова:** відеодані, кодування з перетворенням, зональне кодування, стеганографія.