

УДК 621.327:681.5

В.В. Баранник<sup>1</sup>, А.К. Юдин<sup>2</sup>, Н.К. Гулак<sup>2</sup><sup>1</sup>Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харків<sup>2</sup>Национальный авиационный университет, Киев**МЕТОД ОЦЕНКИ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЖАТИЯ БИТОВЫХ ПЛОСКОСТЕЙ**

Рассматривается оценка временных характеристик на сжатия изображений. Для этого разрабатывается метод оценки количества операций на выполнение неравновесного позиционного кодирования (НРПК) трансформированных изображений. Проведенная оценка временных характеристик показала, что: 1) интегрирования НРПК в технологию компрессии трансформированных изображений не приводит к повышению сложности организации вычислительных процессов на основе аппаратной и аппаратно-программной реализаций; 2) для построенной технологии компрессии трансформированных изображений на основе неравновесного позиционного кодирования, обеспечивается обработка видеоданных в реальном времени на универсальных вычислительных средствах для режима сжатия без потери качества восстановленных изображений (наименьшие значения степени сжатия и наибольшие значения ПОСШ). 3) среди технологий компрессии трансформированных изображений на базе dct наименьшее время обеспечивается в случае интеграции неравновесного позиционного кодирования.

**Ключевые слова:** время компрессии изображений, количество арифметических операций.

**Введение****Постановка проблемы и анализ литературы.**

Особенности, связанные с доставкой мультимедийных данных между различными абонентами с использованием телекоммуникационных систем выдвигают на передний план вопросы касающиеся развития технологий компрессии [1 – 2]. Это объясняется как необходимостью снижения нагрузки на каналы связи, так и повышением качества и достоверности получаемых данных. Поэтому тематика таких исследований является актуальной. Для этого разрабатываются методы сжатия данных от различных источников. Наиболее существенное влияние на характеристики функционирования телекоммуникационных систем оказывают процессы обработки и передачи видеоданных. Одни из эффективных методов сжатия базируются на кодировании трансформированных изображений. В работах [3 – 5] для сокращения избыточности в трансформантах дискретного косинусного преобразования создается неравновесное позиционное кодирование. В тоже время для оценки оперативности доставки данных в телекоммуникационных системах необходимо оценить количество операций на сжатие и восстановления видеоданных. Наибольшая сложность обработки приходится на процесс сокращения избыточности в битовых плоскостях трансформанты. Отсюда **цель статьи** состоит в разработке метода оценки временных характеристик на сжатие изображений с использованием неравновесного позиционного кодирования.

**Выявление особенностей обработки трансформированных изображений**

Важным требованием к проектированию и созданию технологий обработки изображений является

минимизация уровня вычислительной сложности. Под этим понимается как сокращение количества операций на обработку, так и упрощение аппаратной, аппаратно-программной реализаций. Особая критичность такого требования проявляется в информационных системах, связанных с обработкой видеоданных на борту летательных аппаратов. Это обусловлено ограниченными энергетическими и вычислительными ресурсами бортовой аппаратуры.

При создании методов обработки изображений, которые интегрируются в качестве составных компонент в существующие системы обработки, требуется учитывать особенности базового технологического процесса. В случае построения технологии кодирования в системах обработки трансформированных изображений необходимо учитывать, что:

1) на преобразование изображений (в том, числе на dct) затрачивается количество операций умножения и сложения порядка  $k q_c q_c \log_2 q_c q_c$ , где  $q_c q_c$  количество элементов в массиве видеоданных. Причем с ростом размеров массивов данных происходит увеличение количества операций;

2) операндами могут быть вещественные числа, что дополнительно в несколько раз увеличивает время обработки;

3) существует обратно пропорциональная зависимость между показателем  $\delta_{\text{ren}}$  погрешности восстановленных изображений и количеством операций на обработку  $v_{\text{opt}}$ :

$$v_{\text{opt}} \sim \frac{1}{\delta_{\text{ren}}}, \quad (1)$$

где  $\delta_{\text{ren}}$  – пиковое значение отношения сигнал/шум на этапе восстановления видеоданных.

Это обусловлено тем, что уменьшение величины  $\delta_{\text{ген}}$  достигается при:

- использовании вещественных базисов преобразований;
- увеличении для некоторых типов преобразований размеров обрабатываемых массивов;
- сокращении количества отбрасываемых компонент трансформанты;

4) существует обратно пропорциональная зависимость между количеством операций  $v_{\text{опт}}$  на обработку изображений и значением коэффициента сжатия  $C_r$ :

$$v_{\text{опт}} \sim \frac{1}{C_r}. \quad (2)$$

Такой характер соотношения величин  $v_{\text{опт}}$  и  $C_r$  вызван следующими причинами:

- увеличением коэффициента сжатия в случае повышения размеров обрабатываемых массивов видеоданных и использования вещественных базисных функций;

– необходимостью реализации сложной технологии кодирования для дополнительного сокращения избыточности в компонентах трансформанты без внесения погрешности. Зачастую количество операций на реализацию процесса кодирования  $v_{\text{cd}}$  превышает количество операций на выполнение преобразования  $v_{\text{tr}}$ :

$$v_{\text{tr}} \leq v_{\text{cd}}. \quad (3)$$

Закономерность, описываемая неравенством (3), проявляется в случае осуществления арифметического кодирования компонент трансформант;

5) симметричность процессов компрессии и декомпрессии изображений. Данный принцип состоит в том, что технологии обработки трансформированных изображений используются в основном в системах, предполагающих одинаковые затраты количества операций на сжатие  $v_{\text{com}}$  и восстановление  $v_{\text{gen}}$  изображений

$$v_{\text{com}} = v_{\text{gen}} = v_{\text{опт}}. \quad (4)$$

Выполнение соотношения (4) определяется взаимоднозначностью технологических процессов компрессии и восстановления видеоданных.

Для оценки соответствия требованиям технологии обработки компрессированных изображений с позиции вычислительных характеристик и проведения сравнительного количественного анализа с известными подходами необходимо разработать метод оценки количества операций, затрачиваемых на проведение неравновесного позиционного кодирования.

### Метод оценки времени сжатия изображений

В соответствии с разработанной технологией компрессии на выполнение базовых функций обра-

ботки изображений, размером  $Q_\ell Q_c$  элементов, требуется выполнить следующее количество операций:

1.  $Q_\ell Q_c$  операций сложения – для получения цветовой компонент U и V,  $2Q_\ell Q_c$  операций сложения (ос) и  $2Q_\ell Q_c$  операций побитового сдвига (обс) – для получения яркостной компоненты Y. Всего для трех компонент требуется выполнить

$$4Q_\ell Q_c \text{ (ос)} + 2Q_\ell Q_c \text{ (обс)}.$$

2.  $Q_\ell Q_c k \log_2 q_\ell q_c$  операций сложения (ос) и  $Q_\ell Q_c k \log_2 q_\ell q_c$  операций умножения (оу) – для выполнения dct одной цветовой плоскости изображения. Всего для трех компонент выполняется количество операций, равное

$$3Q_\ell Q_c k \log_2 q_\ell q_c \text{ (ос)} + 3Q_\ell Q_c k \log_2 q_\ell q_c \text{ (оу)}.$$

3.  $Q_\ell Q_c$  операций деления (од) – квантизации компонент трансформант (в случае если режим сжатия с регулируемым потерями качества восстановленных изображений). Тогда всего после обработки трех цветовой плоскостей отводится  $3Q_\ell Q_c$  (од).

Количество операций на проведение неравновесного позиционного кодирования рассчитывается исходя из того, что:

1. Определения размеров массивов длин двоичных серий (ДДС) – 1 операция умножения и 1 операция деления.

2. Выявление длины двоичной серии для одного БПТ –  $q_{\text{bp}} q_\ell q_c$  операций сравнения (оср), а всего для трех компонент  $3Q_\ell Q_c q_{\text{bp}}$  (оср).

3. Вычисление оснований элементов НРПЧ на базе массивов ДДС требует выполнения максимум  $((s-1)\psi)$  операций сравнения. Тогда для трех цветовой плоскостей суммарное количество операций составит

$$\frac{3Q_\ell Q_c}{q_\ell q_c} ((s-1)\psi) \text{ (оср)};$$

$$s = W / (\lceil \log_2 q_\ell q_c \rceil + 1), \quad \psi = \lceil \Phi / s \rceil + 1.$$

4. Вычисление значений весовых коэффициентов элементов НРПЧ для одного массива ДДС связано с выполнением  $(s-1)$  операции умножения. Понятно, что для трех цветовой плоскостей требуется

$$\frac{3Q_\ell Q_c}{q_\ell q_c} (s-1) \text{ (оу)}.$$

5. Вычисление значений кодов для столбцов массива ДДС. Для этого требуется выполнить  $((s-1)\psi)$  операций умножения и  $((s-1)\psi)$  операций сложения. Отсюда на кодирование всех массивов ДДС, образованных для трех цветовой компонент выполняется

$$\frac{3Q_\ell Q_c}{q_\ell q_c} ((s-1)\psi) \text{ (оу)} + \frac{3Q_\ell Q_c}{q_\ell q_c} ((s-1)\psi) \text{ (ос)}.$$

6. Определение количества разрядов на кодовое слово одной БПТ потребует выполнения одной опе-

рации умножения. Откуда всего на реализацию локально-равномерного принципа распределения разрядов под кодовые слова затрачивается количество операций, равное  $\frac{3Q_\ell Q_c}{q_\ell q_c}$  (оу).

Суммарное количество операций на НРПК находится по формуле

$$v_{cd} = (1 + \frac{3Q_\ell Q_c}{q_\ell q_c} (1 + (\psi + 1)(s - 1))) (оу) + (3Q_\ell Q_c (q_{bp} + \frac{\psi(s-1)}{q_\ell q_c}) (оср) + (\frac{3Q_\ell Q_c}{q_\ell q_c} (\psi(s-1)) (ос) + 1 (од)). \quad (5)$$

Отсюда суммарное количество  $v_{com}$  операций на реализацию технологии компрессии изображений на основе неравновесного позиционного кодирования равно

$$v_{com} = v_{cd} + Q_\ell Q_c (4 + 3k \log_2 q_\ell q_c) (ос) + 2Q_\ell Q_c (обс) + 3Q_\ell Q_c k \log_2 q_\ell q_c (оу) + 3Q_\ell Q_c (од). \quad (6)$$

Проведем оценку сложности неравновесного позиционного кодирования по количеству операций относительно количества операций на двумерное дискретное косинусное преобразование. Для этого сравним величины  $v_{tr}$  и  $v_{cd}$ . Распишем выражение (5) с учетом соотношений для величин  $s$  и  $\psi$ :

– для операций умножения:

$$\left( 1 + \frac{3Q_\ell Q_c}{q_\ell q_c} \left( 1 + \left( \left[ \frac{\Phi([\log_2 q_\ell q_c] + 1)}{W} \right] + 2 \right) \times \left( \frac{W}{([\log_2 q_\ell q_c] + 1)} \right) \right) \right),$$

где  $\Phi$  – количество двоичных серий, выявленных для битового представления трансформанты;

– для операций сложения

$$\left( \frac{3Q_\ell Q_c}{q_\ell q_c} \left( \left[ \frac{\Phi([\log_2 q_\ell q_c] + 1)}{W} \right] + 1 \right) \times \left( \frac{W}{([\log_2 q_\ell q_c] + 1)} - 1 \right) \right).$$

Для больших  $\Phi$ ,  $\Phi \geq 32$  и  $W \geq ([\log_2 q_\ell q_c] + 1)$  количество операций умножения и сложения будет соответственно равно:

$$\left( 1 + \frac{3Q_\ell Q_c}{q_\ell q_c} \left( 1 + \left( \left[ \frac{\Phi([\log_2 q_\ell q_c] + 1)}{W} \right] + 2 \right) \times \left( \frac{W}{([\log_2 q_\ell q_c] + 1)} - 1 \right) \right) \approx \frac{3Q_\ell Q_c}{q_\ell q_c} \Phi, \right. \\ \left. \left( \frac{3Q_\ell Q_c}{q_\ell q_c} \left( \left[ \frac{\Phi([\log_2 q_\ell q_c] + 1)}{W} \right] + 1 \right) \times \left( \frac{W}{([\log_2 q_\ell q_c] + 1)} - 1 \right) \right) \approx \frac{3Q_\ell Q_c}{q_\ell q_c} \Phi. \right.$$

Из анализа данных соотношений следует, что количество арифметических операций находится в прямо пропорциональной зависимости от количества двоичных серий в БПТ и не зависит от размеров массивов длин двоичных серий и от длины кодового слова.

Количество операций умножения и сложения на организацию трансформирования изображений находится соответственно по формулам:

$$3Q_\ell Q_c k \log_2 q_\ell q_c; Q_\ell Q_c (4 + 3k \log_2 q_\ell q_c).$$

Тогда величины отношения количества операций на трансформирование и кодирование для процедур умножения и сложения будут оцениваться по формуле

$$(k q_\ell q_c \log_2 q_\ell q_c) / \Phi. \quad (7)$$

Максимальное количество двоичных серий в БПТ находится как  $\Phi = q_{bp} q_\ell q_c$ , где  $q_{bp}$  – количество битовых плоскостей. Если  $q_\ell \geq 8$  и  $q_c \geq 8$ , а  $2 \leq k \leq 4$ , то  $\Phi < k q_\ell q_c \log_2 q_\ell q_c$ . Следовательно, выполняется неравенство

$$(k q_\ell q_c \log_2 q_\ell q_c) / \Phi = (k \log_2 q_\ell q_c) / q_{bp} > 1. \quad (8)$$

Например, для  $q_\ell = q_c = 8$ ,  $k = 2$  и  $q_{bp} = 10$ , минимальный выигрыш процесса НРП кодирования относительно dct составит 60 %.

Кроме того, к дополнительному фактору, приводящему к увеличению вычислительных и временных затрат на трансформирование по сравнению с НРП кодированием, относится то, что операции преобразования являются вещественными. На выполнение вещественных операций требуется в среднем затратить на 40% больше тактовых импульсов, чем на выполнение целочисленных операций. Значит для НРПК условие (3) выполняется  $v_{tr} > v_{cd}$ , и неравновесное позиционное кодирование (декодирование) не приводит к увеличению сложности аппаратной и программной реализаций технологии компрессии трансформированных изображений.

Преобразовав выражение (5) с учетом условий  $\Phi \geq 32$  и  $W \geq ([\log_2 q_\ell q_c] + 1)$ , получим

$$v_{cd} = \frac{3Q_\ell Q_c}{q_\ell q_c} \Phi (оу) + (3Q_\ell Q_c (q_{bp} + \frac{\Phi}{q_\ell q_c}) (оср) + \frac{3Q_\ell Q_c}{q_\ell q_c} \Phi (ос) + 1 (од)). \quad (9)$$

Тогда суммарное количество операций на сжатие изображений будет равно

$$v_{com} = 3Q_\ell Q_c (k \log_2 q_\ell q_c + \frac{\Phi}{q_\ell q_c}) (ос) + 2Q_\ell Q_c (обс) + 3Q_\ell Q_c (од) + 3Q_\ell Q_c (k \log_2 q_\ell q_c + \frac{\Phi}{q_\ell q_c}) (оу) + 3Q_\ell Q_c (q_{bp} + \frac{\Phi}{q_\ell q_c}) (оср). \quad (10)$$

Анализ соотношения (10) свидетельствует о том, что количество операций на сжатие видеоданных зависит от размеров изображения, размеров трансформант, количества двоичных серий и разрядности компонент трансформант дискретного косинусного преобразования.

Временные затраты  $\tau_{\text{com}}$  на компрессию изображения оцениваются по формуле

$$\tau_{\text{com}} = \frac{V_{\text{com}}}{S_c} \text{ (сек.)}, \quad (11)$$

где  $S_c$  – скорость выполнения машинных операций в секунду на вычислительной системе.

Оценка временных затрат  $\bar{\tau}_{\text{com}}$  (приходящихся в среднем на одну цветовую плоскость) на компрес-

сию изображений с учетом программной реализации на универсальных вычислительных системах (микропроцессор класса Intel Pentium IV с тактовой частотой 2,1 ГГц) приведена на рис. 1.

Оценка временных затрат на обработку изображений проводилась для различных значений: размеров изображения  $Q_l Q_c$  (800x600; 1024x768; 2048x1536 элементов), размеров трансформант  $q_l q_c$  (8; 16; 32 компоненты).

Анализ данных, приведенных на рис. 1, свидетельствует о том, что для построенной технологии компрессии трансформированных изображений на основе неравновесного позиционного кодирования, характерно то, что: наибольшее влияние на время сжатия изображений оказывают их размеры.

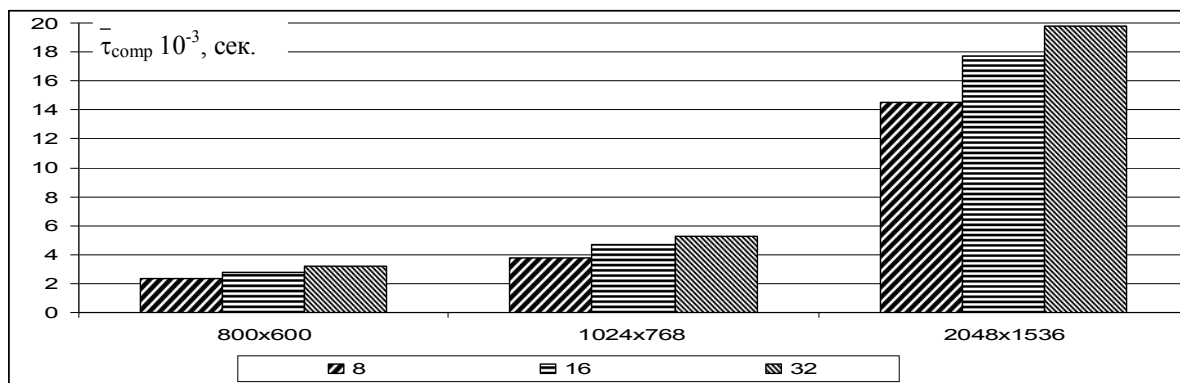


Рис. 1. Диаграмма зависимости величины  $\bar{\tau}_{\text{com}}$ , от  $Q_l Q_c$  и  $q_l q_c$

Для изображений, размером  $Q_l Q_c = 2048 \times 1536$  элементов, время сжатия достигает 0,02 сек.; с ростом размеров трансформант  $dct$  время сжатия в среднем увеличивается на 20%.

Данные результаты оценки времени обработки изображений позволяют сделать вывод о возможно-

сти сжатия изображений на основе неравновесного позиционного кодирования трансформант в реальном времени.

Сравнительная оценка различных методов компрессии по времени  $\bar{\tau}_{\text{com}}$  на сжатие изображений, рассматривается на рис. 2.

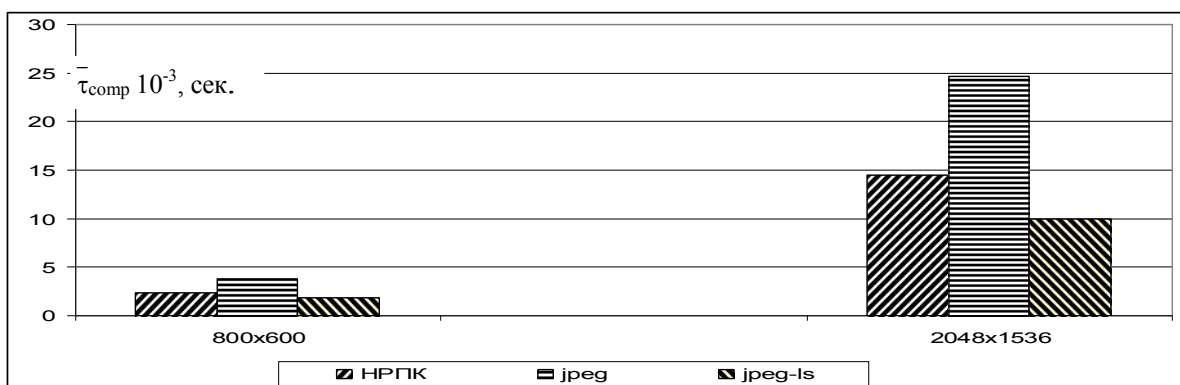


Рис. 2. Диаграмма зависимости величины  $\bar{\tau}_{\text{com}}$ , от  $Q_l Q_c$  и  $q_l q_c$  для разных методов

Для сравнения с разработанным методом используются такие технологии как: JPEG-LS и JPEG. Предполагается, что этап квантизации отсутствует. Приведенные на рис. 2 диаграммы свидетельствуют на следующие результаты: среди технологий компрессии трансформированных изображений на базе

$dct$  наименьшее время обеспечивается в случае интеграции неравновесного позиционного кодирования.

Выигрыш по времени обработки достигает 70%. Это обусловлено сокращением количества операций на выполнение кодирования трансформант; выигрыш по времени сжатия (в среднем на

30%) для технологии JPEG-LS обеспечивается за счет отсутствия такого этапа обработки как выполнения дискретного косинусного преобразования.

### Выводы

Разработан метод оценки количества операций на выполнение неравновесного позиционного кодирования трансформированных изображений. Проведенная оценка временных характеристик показала, что:

1) интеграция НРПК в технологию компрессии трансформированных изображений не приводит к повышению сложности организации вычислительных процессов на основе аппаратной и аппаратно-программной реализаций;

2) для построенной технологии компрессии трансформированных изображений на основе неравновесного позиционного кодирования, обеспечивается обработка видеоданных в реальном времени на универсальных вычислительных средствах для режима сжатия без потери качества восстановленных изображений (наименьшие значения степени сжатия и наибольшие значения ПОСШ).

Это обеспечивается тем, что: количество арифметических операций находится в прямо пропорциональной зависимости от количества двоичных серий в БПТ и не зависит от размеров массивов длин двоичных серий и от длины кодового слова; затраты количества операций на НРПК меньше, чем затраты на дискретное косинусное преобразование. Например, для  $q_l = q_c = 8$ ,  $k = 2$  и  $q_{br} = 10$ , минимальный выигрыш процесса НРП кодирования относительно dct составит 60%; наибольшее влияние на время сжатия изображений оказывают их

размеры. Для изображений, размером  $2048 \times 1536$  элементов, время сжатия достигает 0,02 сек.; с ростом размеров трансформант dct время сжатия в среднем увеличивается на 20%;

3) среди технологий компрессии трансформированных изображений на базе dct наименьшее время обеспечивается в случае интеграции неравновесного позиционного кодирования. Выигрыш по времени обработки достигает 70%.

### Список литературы

1. Королев А.В. Адаптивная маршрутизация в корпоративных сетях / А.В. Королев, Г.А. Кучук, А.А. Паушев. – Х.: ХВУ, 2003. – 224 с.
2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. Гулак Н.К. Неравновесное позиционное представление битовых плоскостей трансформант / Н.К. Гулак // *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. – Х.: ХУПС. – 2009. – Вып. 1 (19). – С. 76-82.
4. Баранник В.В. Метод сжатия изображений на основе неравновесного позиционного кодирования битовых плоскостей / В.В. Баранник, Н.А. Корлева, Н.К. Гулак // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – Х.: ХНАУ «ХАІ». – 2009. – Вып. 1. – С. 55-61.
5. Юдин А.К. Методология сокращения избыточности в трансформированных изображениях / А.К. Юдин, Н.К. Гулак // *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии*. – Х.: НАКУ «ХАИ», 2009. – Вып. 41. – С. 44-53.

Поступила в редколлегию 27.03.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.И. Хаханов, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

### МЕТОД ОЦІНКИ ЧАСОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТИСКУ БІТОВОЇ ПЛОСКОСТІ

В.В., Бараннік, О.К. Юдін, Н.К. Гулак

*Розглядається оцінка часових характеристик на стискування зображень. Для цього розробляється метод оцінки кількості операцій на виконання нерівноважного позиційного кодування (НРПК) трансформованих зображень. Проведена оцінка часових характеристик показала, що: 1) інтеграції НРПК в технологію компресії трансформованих зображень не приводить до підвищення складності організації обчислювальних процесів на основі апаратної і апаратно-програмної реалізації; 2) для побудованої технології компресії трансформованих зображень на основі нерівноважного позиційного кодування, забезпечується обробка відеоданих в реальному часі на універсальних обчислювальних засобах для режиму стиску без втрати якості відновлених зображень (найменші значення ступеня стиснення і найбільші значення ПВСШ). 3) серед технологій компресії трансформованих зображень на базі dct найменший час забезпечується разі інтеграції нерівноважного позиційного кодування.*

**Ключові слова:** година компресії зображень, кількість арифметичних операцій.

### METHOD OF ESTIMATION OF TEMPORAL DESCRIPTIONS OF COMPRESSION OF BIT PLANES

V.V. Barannik, A.K. Yudin, N.K. Gulak

*The estimation of temporal descriptions is examined on compression of images. For this purpose the method of estimation of amount of operations is developed on implementation unequal weight of the position encoding of the transformed images. The conducted estimation of temporal descriptions retined that: 1) in technology of compression of the transformed images does not bring integration over of NBIO to the increase of complication of organization of calculable processes on the basis of hardware and programmatic representations; 2) for the built technology of compression of the transformed images on basis unequal weight of the position encoding, treatment of videoinformation is provided in real time on universal computing facilities for the mode of compression without the loss of quality redisplayed (the least values of degree of compression and most values of PSNR). 3) among technologies of compression of the transformed images on a base dct the least time is provided in the case of integration unequal weight of the position encoding.*

**Key words:** time of compression of images, amount of arithmetic operations.