

## МЕТОД РОЗРАХУНКУ ПОХИБОК ГЕОМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ СТИСНЕННІ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

*Запропоновано метод розрахунку похибок геометричних вимірювань на цифрових зображеннях, що були стиснуті за допомогою JPEG-алгоритму. Таке стиснення може бути складовою частиною процесу обробки експериментальних даних і перетворення цих даних в форму, найбільш прийнятну для їх накопичення та зберігання. Виконано оцінку впливу похибок, пов'язаних із вилученням верхніх частот зі спектра сигналу яскравості, на точність геометричних вимірювань.*

### 1. Застосування стиснення відеозображень при накопиченні та зберіганні експериментальних даних

Експериментальні дані, отримані в результаті реєстрування технічними засобами наукового експерименту або виробничого процесу, можуть містити значний об'єм візуальної інформації у вигляді набору відеозображень. Включення відеозображень до складу експериментальних даних суттєво підвищує їх інформативність та наочність, а застосування відповідної комп'ютерної обробки цих відеозображень дозволяє автоматизувати вимірювання параметрів процесу, що реєструється. Наприклад, відеозображення є складовою частиною експериментальних даних при дослідженні пластичної деформації твердих тіл [19, 22].

Одним із етапів обробки експериментальних даних є їх поступове накопичення та створення відповідної бази даних. Відеозображення мають значний об'єм, у порівнянні з іншими типами даних. Це створює певні труднощі при їх накопиченні та зберіганні. Тому актуальною є задача стиснення відеозображень, що входять до складу експериментальних даних.

Ефективне стиснення відеозображень можливе тільки на основі методів з втратами інформації. Це, наприклад, може бути стиснення за JPEG-алгоритмом, який базується на дискретному косинусному перетворенні (ДКП) цифрового зображення [11, 12, 18]. Даний алгоритм фактично є стандартом для стиснення нерухомих цифрових відеозображень. Він також входить, як складова частина, до методів стиснення послідовностей рухомих зображень, наприклад, до методів М-JPEG і MPEG [12, 14].

Стиснення відеозображень за JPEG-алгоритмом може виконуватися безпосередньо при формуванні зображень в цифровому фотоапараті або при введенні відеозображень в комп'ютер [13].

Оскільки при багатьох експериментальних дослідженнях кінцевою метою є визначення геометричних розмірів елементів зображення [19, 22], то потрібно визначити вплив стиснення за JPEG-алгоритмом на похибки цих вимірювань.

### 2. Визначення точнісних характеристик JPEG-алгоритму

При стисненні цифрових зображень за JPEG-алгоритмом виникають втрати деякої частини інформації про яскравість і колір дискретних точок цих зображень. В основному це інформація про амплітуду верхніх частот в спектрі зображення. Можливість вилучення цієї частини інформації впливає з особливостей сприйняття відеозображень людиною. Після стиснення зображення до певних меж суттєвого впливу на візуальну якість зображення не відчувається. Ця якість може бути оцінена на основі об'єктивних [15] або суб'єктивних критеріїв, наприклад, методом експертних оцінок [4, 9].

В даному випадку ці методи оцінки якості стиснутого зображення не підходять, так як необхідно оцінити вплив стиснення за JPEG-алгоритмом на похибки геометричних вимірювань на зображенні. Важливість такої оцінки пояснюється тим, що визначення координат точок контурів об'єктів виконується на основі обробки перепадів яскравості на зображенні, а ці перепади в значній мірі визначаються верхніми частотами в спектрі зображення. Тому розглянемо JPEG-алгоритм стиснення зображень з точки зору виникнення похибки геометричних вимірювань.

Стиснення цифрових зображень за JPEG-алгоритмом включає такі етапи [3, 11, 17, 18]:

1. Перетворення початкового зображення, з метою розділу інформації про яскравість і колір точок зображення, субдискретизація інформації про колір. Далі будуть розглядатися напівтонові зображення, що містять тільки градації сірого кольору, і тому цей етап в даному випадку не призводить до виникнення похибок.

2. Поділ зображення на блоки розміром 8x8 дискретних точок і виконання ДКП для кожного блоку. В результаті інформація про яскравість точок зображення переводиться в частотну область. ДКП має обернене перетворення і не призводить до втрат інформації та виникнення похибок.

3. Виконується квантування частотних коефіцієнтів, отриманих в результаті ДКП. Процедура квантування полягає в цілочисельному діленні частотних коефіцієнтів на набір вагових коефіцієнтів, що утворюють таблицю квантування. Вона побудована таким чином, що квантування призводить до вилучення верхніх частот зі спектра зображення. Воно, в свою чергу, призводить до викривлення форми перепадів яскравості та виникнення ще однієї складової частини похибки визначення координат точок контуру. Інші частотні коефіцієнти, що залишаються в спектрі, в результаті квантування можуть дещо змінитися і це теж є джерелом похибок визначення координат точок.

4. Кодування частотних коефіцієнтів після квантування за методом Хаффмена або арифметичне кодування для вилучення інформаційної надлишковості. Ці методи кодування не призводять до втрат інформації та виникнення похибок.

Початкове зображення, що надходить в JPEG-алгоритм для стиснення, має певний рівень шумів і викривлень, що виникли в процесі його формування. Вони перетворюються в трансформовану похибку на виході JPEG-алгоритму.

JPEG-алгоритм містить багато обчислювальних операцій над цифровими даними, що реалізуються на програмному або апаратному рівнях [12, 13, 16]. Обмеження розрядності цифрових даних призводить до виникнення похибки виконання обчислень.

Постає задача розрахунку всіх вказаних похибок JPEG-алгоритму, з метою оцінки точності геометричних вимірювань на цифровому зображенні, визначення максимально допустимої ступені стиснення зображення і, в результаті, формування вимог до апаратних і програмних засобів обробки експериментальних даних.

Для вирішення вказаної задачі пропонується розглядати JPEG-алгоритм на основі теорії цифрової фільтрації сигналів [2, 7, 8]. З цієї точки зору, JPEG-алгоритм є нерекурсивним цифровим фільтром нижніх частот, що виконує фільтрацію сигналу в частотній області.

Точнісні характеристики цифрового фільтра можна визначити відомими методами на основі детермінованого або ймовірностного підходів [1, 8, 10]. Особливості застосування деяких з цих методів до JPEG-алгоритму будуть розглянуті далі.

### **3. Загальна схема теоретичного розрахунку похибок геометричних вимірювань при стисненні цифрових зображень**

Похибки геометричних вимірювань на цифровому зображенні обумовлені дією багатьох факторів, в тому числі викривлень, що виникають в результаті стиснення початкового зображення.

Пропонується схема обчислень загальної похибки геометричних вимірювань на цифрових зображеннях, що були стиснуті за допомогою JPEG-алгоритму (рис. 1).

При обчисленні загальної похибки за цією схемою враховано вплив похибок і викривлень [20, 21], що виникають в процесі таких дій з зображенням:

- введення в комп'ютер і оцифровка відеозображення;
- застосування JPEG-алгоритму стиснення цифрових зображень;
- обчислення геометричних розмірів елементів зображень на основі координат точок контурів цих елементів.

Початковими даними для розрахунку є:

- технічні характеристики апаратних засобів для введення в комп'ютер і оцифровки відеозображень;
- параметри JPEG-алгоритму, що визначають ступінь стиснення і якість вихідного зображення, в тому числі таблиця квантування частотних коефіцієнтів для сигналу яскравості;
- алгоритм обчислень і розрядність даних при визначенні геометричних розмірів елементів зображень.

Περαηυοκ ποηιβκι δισκρετιζαίι в εκβιβαλεντну ποηιβкυ κвантування, αβο, навпаки, περαηυοκ ποηιβκι κвантування в εκβιβαλεнτну ποηιβкυ δισκρετιζаίи виконуеться на οσνοβι λίνιιної απροκσιμαίи πεрепаду яскравοσί, що відповiдаε контуру οβ'εκτα на зοβραженнi [21].

#### 4. Περεтворення ποηιβκοκ вхiδних δαних в JPEG-αλγοριτμi

Цифροε зοβραження, що надходить в JPEG-αλγοριτμ для στισнення, мiστιть шуми i вικριвлення, якi виникли в процесi формування цюго зοβраження. До таких вικριвлень вiдносяться (рис. 1):

- шум κвантування по рiвню при οцифровцi вiдеоσигналу;
- шум, присутнiй в αναλογοвому вiдеоσигнаλi;
- εκβιβαλεнтна ποηιβкυ κвантування, οτριμανα в резульαατι περαηυοκνυ iνσших ποηιβκοκ на οσнοвι λίνιιної απροκσιμαίи πεрепаду яскравοσί [21].

Будемо вважати, що вказанi вικριвлення утворюють адитивний шум, що присутнiй в σигнаλi яскравοσί. Цей σигнал вiдповiдаε послiдовноσти значень яскравοσί в δισκρετних точках οδного рядка цифροεго зοβраження. Вказаний шум περεтворюеться в процесi στισнення зοβраження в δεαкий iνσший шум, що присутнiй в σигнаλi яскравοσί на вихοδi JPEG-αλγοριτму.

Визначимо дисперсiю шуму на вихοδi JPEG-αλγοριτму (на зοβраженнi πiσля στισнення) на οσнοвι параметрiв JPEG-αλγοριτму i στατιστικησ χαρακτηριστικησ шуму на вхοδi цюго αλγοριτму (на початковοму зοβраженнi).

В данοму випадку будемо розглядати JPEG-αλγοριτμ як цифροεвий фiλτρ нижнiх частοτ.

Середня потужнiсть випадковοεго процесу на вихοδi σтiйкого цифροεго фiλтра [1, 8]:

$$P_{\text{вих}} = \frac{T}{\pi} \int_0^{\pi/T} W_{\text{вх}}(e^{j\omega T}) \cdot |H(e^{j\omega T})|^2 d\omega,$$

де  $T$  – iнтервал δισκρετιζаίи;

$W_{\text{вх}}(e^{j\omega T})$  – спектральна щiльнiсть потужноσί випадковοεго процесу на вхοδi фiλтра;

$H(e^{j\omega T})$  – комплексна частοτна характеристика фiλтра, οτριμανα πiδστανοεкою  $z = e^{j\omega T}$  в περεααοαчнυ функцiю  $H(z)$  фiλтра.

У випадку, коли вхiδний шум ε некорельοваним випадковим процесοм з нульοвим середнiм значенням, можна οτριμανи вираз для розрахунок дисперсiи шуму на вихοδi цифροεго фiλтра [8, 10]:

$$\sigma_{\text{вих}}^2 = \sigma_{\text{вх}}^2 \cdot \frac{T}{\pi} \int_0^{\pi/T} A^2(\omega) d\omega, \tag{1}$$

де  $\sigma_{\text{вх}}^2$  – дисперсiя шуму на вхοδi фiλтра;

$A(\omega)$  – амплiтудно-частοτна характеристика фiλтра.

Для цифροεвих зοβражень, що οτριμανi в резульαατι введення в комп'ютер експериментальних δαних за допомогою вiдеокамери αβο цифροεго фотоαпарαα, шум ε некорельοваним випадковим процесοм [21]. Нерекурсивний фiλτρ, яким ε JPEG-αλγοριτμ, завжди σтiйкий. Тому можна використовувати формулу (1).

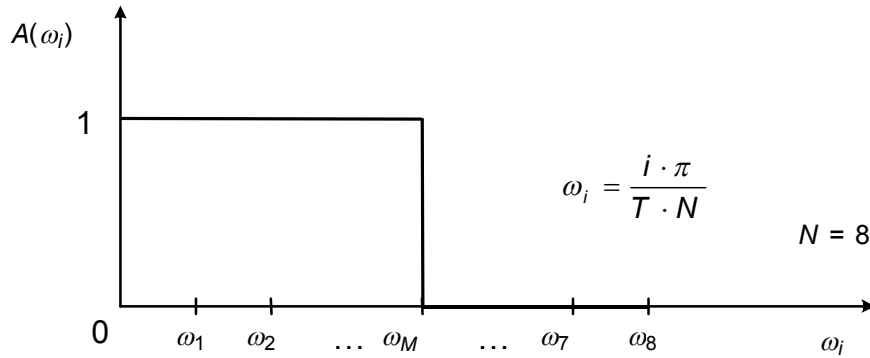
Визначимо амплiтудно-частοτну характеристику цифροεго фiλтра, що вiдповiдаε JPEG-αλγοριτму στισнення зοβражень (рис. 2). В данοму випадку  $M$  – порядковий номер οσανнього частοτного коефiцiєнту, що залишаеться в спектрi οδновимiрного σигналу яскравοσί в рядку зοβраження. Вилучення частοτних коефiцiєнтiв з бiльшими номерами здiйснюеться при κвантування цих коефiцiєнтiв в процесi στισнення зοβраження за JPEG-αλγοριτмом.

Визначимо на οσнοвι теοреми вiдлiкiв i влаσтивοεстей ДКП частοти, що вiдповiдають номерам частοτних коефiцiєнтiв. Максимальна частοτα, що може бути присутня на зοβраженнi, вiдповiдаε порядковοму номеру  $N = 8$  i дοрiвноε:  $\omega_{\text{max}} = 2\pi f_{\text{max}} = \pi/T$ , де  $f_{\text{max}} = 1/(2T)$ . Для будь-якого довiльного

порядковοεго номера "i" частοτα  $\omega_i = \frac{i \cdot \pi}{T \cdot N}$ .

В резульαατι, використовуючи формулу (1), маемо:

$$\sigma_{\text{вих}}^2 = \sigma_{\text{вх}}^2 \cdot \frac{T}{\pi} \int_0^{\omega_M} 1^2 \cdot d\omega = \sigma_{\text{вх}}^2 \cdot \frac{M}{N}. \tag{2}$$



Ρις. 2

Τακιμ χινομ, φορμυλα (2) δοζωλαε βιρλιθι πεσβαλενυ ζαδαχυ, τοβτο ζναιθι διοπερσιυ ςουμυ να βιχοδι JPEG-αλοριθιμυ.

Τακ ακ  $M = 0, 1, \dots, 7; N = 8$ , το JPEG-αλοριθιμ ζμενςυε ριβενη ςουμυ, ακιυ πριςυθινηι να ποααοκομυ ζοβραζενηι.

### 5. Βικριβλενηα φορμι περεπαδυ αςκραβοτι, ποβ'αζανε ζ βιλυκενηαμ βερνηιχ χαοαο ζι ςπεκτρα ςιφροβογο ζοβραζενηα

Πρι ςτιςκενηι ςιφροβογο ζοβραζενηα ζα JPEG-αλοριθιμυ βικονυετςα ΔΚΠ ναδ βλοκαμυ ροζμιρομ 8x8 τοαοκ βοαοκομυ ζοβραζενηι. Δαλι, β ποαοε βι κβαηυανηα χαοαοηακ κοεφικιεναιβ (ρεζυλτααιβ ΔΚΠ), βιδοβυαετςα βιλυκενηα βερνηιχ χαοαο ζι ςπεκτρα ζοβραζενηα. Σε πριζβοδι το βικριβλενηα φορμι περεπαδυ αςκραβοτι, ακιυ υαοροε κοηαου ροβ'εκτα να ζοβραζενηι.

Ποσβαοιμο ζαδαχυ βιζνααηι βελιαηινη υικριβλενηα φορμι περεπαδυ αςκραβοτι τα οαινηι ιχ βπιβι να τοαηιςβ βιζνααηα βοορδιναο τοαοκ κοηαου ροβ'εκτα, ακε βικονυετςα να οβοβι ςεγμεηααιι ζα πορογοβι βιζνααηαμ αςκραβοτι  $Y_n$ .

Δια ςπορκενηα ποδαλιηιη μιρκυαηβ βυδεμο ροζγλαδι το βοβιμιρηιη ςιγναλυ αςκραβοτι  $Y(x)$ , ςο βιδοβυαε ποςλοβνηιη διοκρεηηακ τοαοκ β ραδυκυ αβο ςτοβπιζο ζοβραζενηα. Σευ ςιγναλυ αςκραβοτι μιςαηι οβο βε κελιηακ περεπαδιβ αςκραβοτι. Τακε ςπορκενηα δοπυοιμο, τακ ακ β δαηομυ βιπαδκυ πρι διοςλιζενηι πλαςαηινη διοφομααιι αοερδιη τοι βιμιρηυοηα ροζμιρη οβ'εκτιβ τοιηκι β οριζοηαοηομυ ι βερτικαοηομυ ναπριαμκα [19]. Σε βιδοβυαε βιζνααηαμ τα οβροβιι οβοβιμιρηιη περεπαδιβ αςκραβοτι, ςο ροζαοαοαηι β οριζοηαοηομυ αβο βερτικαοηομυ ναπριαμκα.

Βιχοδιαηι ιζ βλαςαηιοβειη ΔΚΠ, μοζνα ββαζαηι, ςο βικονυετςα ροζκλαδανηα β ραδυ Φυρ'ε ςιγναλυ αςκραβοτι  $Y(x)$ , ακιυ διοπυνηηι ηογο διοζκαοηιημ βιδοβραζενηαμ βιδοβοηο τοαοκ  $x = 0$ . Τακ ακ ροζμιρ βλοκυ ζοβραζενηα, ναδ ακιμ βικονυετςα ΔΚΠ, διοριβηοε 8 διοκρεηηακ τοαοκαμ ( $N = 8$ ), το β ρεζυλτααιβ μαεμο παρνη περιοδιαηνη φυηααηιυ ζ περιοδομ  $2T_N$ , δε  $T_N = N \cdot T = 8T$ .

Ραδυ Φυρ'ε δια δαηοι φυηααηιυ μαε βιγλαδ [5, 7]:

$$Y(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} a_i \cdot \cos \frac{i\pi \cdot x}{T_N},$$

δε

$$a_0 = \frac{2}{T_N} \int_0^{T_N} Y(x) dx;$$

$$a_i = \frac{2}{T_N} \int_0^{T_N} Y(x) \cdot \cos \frac{i\pi \cdot x}{T_N} dx.$$

Τακ ακ β ρεζυλτααιβ ΔΚΠ οβαηιςοετςα τοιηκι 8 χαοαοηακ κοεφικιεναιβ ι διοακα ιη κελιηακ ζαμινηοετςα ηυαμυ πρι κβαηυανηι, το ποααοκοβιη ςιγναλυ αςκραβοτι ζαμινηοετςα χαοαοκοβιη ςυμοο ραδυ Φυρ'ε:

$$S_M(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^M a_i \cdot \cos \frac{i\pi \cdot x}{T_N}. \tag{3}$$

Ριζηαηια μιζ  $Y(x)$  ι  $S_M(x)$  βιζνααε ποαηιβκυ, ακυ βηοςαηι JPEG-αλοριθιμυ πρι ςτιςκενηι ζοβραζενηα.

Ιςηοαοηι μετοδι οαηιηκι τοιη ποαηιβκι οριεηοαηι βιζνααηαμ ροζβιζηοηι αμπλιουδ ςιγναλυ  $Y(x)$  ι  $S_M(x)$ , ναπριακ, να οβοβι ςερδιοηκβαδραηιαηομυ κριηεριομ [6]. Ταοακ οαηινηοηι ροζβιζηοηι βιζυαοηοι ακοηι ποααοκοβιη τα ςτιςκενηοηο ζοβραζενηαμ να οβοβι οβ'εκηιβηιη ι ςυβ'εκηιβηιη κριηεριοβ [4, 9, 15].

В даному випадку необхідно оцінити похибку визначення координати контуру об'єкта, тобто різницю між координатою  $x_k$ , для якої  $Y(x_k) = Y_n$ , і координатою  $x'_k$ , для якої  $S_M(x'_k) = Y_n$ . Для цього потрібно знайти розв'язок  $S_M(x'_k) = Y_n$  відносно  $x'_k$  для заданих  $a_i$ ,  $Y_n$  і  $M$ , а потім обчислити різницю  $x'_k - x_k$ .

Часткова сума ряду Фур'є періодичної функції  $Y(x)$  з періодом  $2\pi$  також може бути обчислена, використовуючи інтеграл Діріхле [5]:

$$S_M(x) = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x + \alpha) \cdot \frac{\sin\left[(2M + 1)\frac{\alpha}{2}\right]}{\sin\frac{\alpha}{2}} d\alpha, \tag{4}$$

де  $\alpha$  – допоміжна змінна інтегрування.

Аналітична оцінка похибки визначення координати з використанням формул (3) і (4) досить ускладнена. Тому було виконано програмне моделювання, що включає такі операції:

1. Формування сигналу  $Y(x)$ , що містить одновимірний перепад яскравості (рис. 3). З урахуванням дзеркального відображення відносно точки  $x = 0$  цей сигнал задається такими виразами:

$$Y(x) = \begin{cases} 0, & -x_1 \leq x \leq x_1, \\ \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}, & x_1 \leq x \leq x_2, \\ \frac{-x - x_1}{x_2 - x_1}, & -x_2 \leq x \leq -x_1, \\ 1, & -\pi \leq x \leq -x_2, \quad x_2 \leq x \leq \pi. \end{cases}$$

Така форма сигналу добре відповідає лінійній апроксимації перепадів яскравості на зображеннях, що отримані при дослідженні пластичної деформації твердих тіл [19, 21]. Довжина перепаду дорівнює 8 дискретним точкам. Для спрощення розрахунків також будемо вважати, що інтервал дискретизації  $T = 1$ , а період сигналу дорівнює  $2\pi$ .

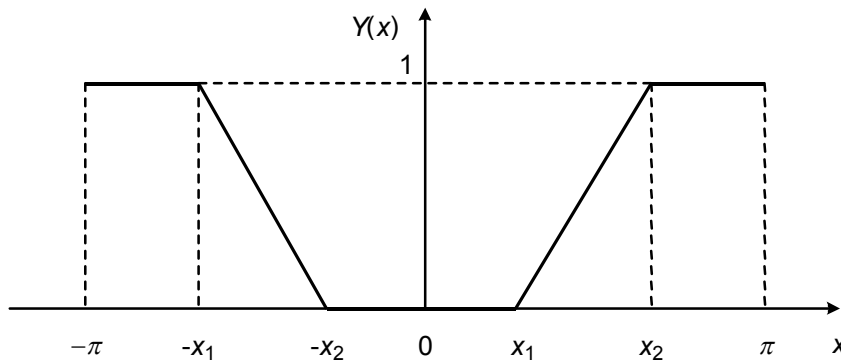


Рис. 3

2. Визначення виразів для частотних коефіцієнтів:

$$a_0 = 2 - \frac{x_1 + x_2}{\pi},$$

$$a_i = \frac{2}{\pi i^2 (x_2 - x_1)} \cdot [\cos(ix_2) - \cos(ix_1)].$$

3. Обчислення часткової суми ряду Фур'є на основі результатів п. 1 і 2.

4. Визначення точного і наближеного значень координати точки контуру  $x'_k$  і  $x_k$ , обчислення похибки визначення координати  $\Delta = x'_k - x_k$ .

5. Накопичення даних про похибку визначення координати для різних значень  $M$  (кількості частотних коефіцієнтів ДКП, що залишаються) і різних варіантів розташування перепаду яскравості всередині блоку розміром  $8 \times 8$  дискретних точок.

В результаті моделювання отримані такі результати:

– значення похибки визначення координат точок контуру, пов'язаної з вилученням верхніх частот зі спектра зображення, дорівнює  $0,25 - 2,0$  дискретних точок;

– значення похибки залежить від кількості частотних коефіцієнтів, що залишаються в спектрі, і місця розташування перепаду яскравості всередині блоку розміром  $8 \times 8$  дискретних точок.

## 6. Βισновки

1. Προπονυέτςα метод розрахунку похибок вимірювання координат точок контурів і розмірів елементів цифрового зображення, яке було стиснуто за допомогою JPEG-алгоритму. Цей метод може бути використаний для зображень, отриманих в результаті введення в комп'ютер і обробки візуальної інформації, яка є результатом експериментальних досліджень.

2. Визначення точнісних характеристик JPEG-алгоритму пропонується виконувати на основі теорії цифрової фільтрації сигналів. JPEG-алгоритм розглядається як нерекурсивний цифровий фільтр нижніх частот, що виконує фільтрацію сигналу в частотній області.

3. Виконано розрахунок трансформованої похибки на виході JPEG-алгоритму, що виникає в результаті перетворення шумів і викривлень, наявних на початковому зображенні.

4. Визначено вплив вилучення верхніх частот зі спектра зображення на похибки геометричних вимірювань для зображень, що отримані в результаті дослідження пластичної деформації твердих тіл.

5. Вплив стиснення за JPEG-алгоритмом на точність геометричних вимірювань є неоднозначним: низькочастотна фільтрація зменшує рівень шумів і похибку вимірювань, квантування частотних коефіцієнтів і вилучення верхніх частот зі спектра зображення збільшують похибку вимірювань.

6. Виконані експериментальні дослідження стиснення за JPEG-алгоритмом відеозображень, які відносяться до задачі дослідження пластичної деформації твердих тіл. Стиснення з коефіцієнтом 1:20 збільшує похибку визначення геометричних розмірів приблизно на 30 %.

7. Отримані результати вказують на доцільність використання стиснення експериментальних даних за JPEG-алгоритмом. Ці результати можуть бути корисні при вирішенні різних задач комп'ютерної автоматизованої обробки експериментальних даних, що містять відеозображення.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. *Верешкин А.Е., Катковник В.Я.* Линейный цифровой фильтры и методы их реализации (Анализ ошибок квантования по уровню). – М.: Советское радио, 1973. – 152 с.
2. *Голд Б., Рэйдер Ч.* Цифровая обработка сигналов: Пер с англ. / Под ред. А.М. Трахтмана. – М.: Советское радио, 1973. – 368 с.
3. *Мюррей Д., Ван Райпер У.* Энциклопедия форматов графических файлов: Пер. с англ. – К.: ВНУ, 1997. – 672 с.
4. *Певзнер Б.М.* Качество цветных телевизионных изображений. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1988. – 224 с.
5. *Пискунов Н.С.* Дифференциальное и интегральное исчисления для втузов. Том 2: Учебное пособие для втузов. – 12-е изд. – М.: Наука, 1978. – 576 с.
6. *Прэтт У.* Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 792 с.
7. *Хелминг Р.В.* Цифровые фильтры: Пер с англ. / Под ред. А.М. Трахтмана. – М.: Советское радио, 1980. – 224 с.
8. *Цифровая обработка сигналов: Учебное пособие для вузов / А.М. Гольденберг, Б.Д. Матюшкин, М.Н. Поляк.* – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1990. – 256 с.
9. *Цифровое кодирование телевизионных изображений / И.И. Цуккерман, Б.М. Кац, Д.С. Лебедев и др.; Под ред. И.И. Цуккермана.* – М.: Радио и связь, 1981. – 240 с.
10. *Цифровые фильтры в электросвязи и радиотехнике / Брунченко А.В., Бутыльский Ю.Т., Гольденберг Л.М. и др.; Под ред. Л.М. Гольденберга.* – М.: Радио и связь, 1982. – 224 с.
11. *Чернега В.С.* Сжатие информации в компьютерных сетях: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.К. Маригодова. – Севастополь: СевГТУ, 1997. – 214 с.
12. *Шлихт Г.Ю.* Цифровая обработка цветных изображений. – М.: ЭКОМ, 1997. – 336 с.
13. *Андросов М.* Нелинейный видеомонтаж: платы серии migoVIDEO DC30 // Мир ПК. – 1999. – № 12. – С. 134–146.
14. *Мурашкин С.* MPEG-4 – международный стандарт // Компьютеры+Программы. – 1999. – № 7–8. – С. 20–23.
15. *Фоли Дж.* Как измеряют качество видеосигнала. Новые методы оценки цифрового видео // Цифровое видео. – 1999. – № 3.
16. *Advance Information. JPEG Image Compression Processor: ZR36050.* – ZORAN Corporation, 08/93. – 52 p.
17. *ISO/IEC 10918-1 (ITU-T T.81). Digital Compression and Coding of Continuous-tone Still Images. Part 1: Requirements and Guidelines.* – 09/92. – 186 p.
18. *Wallace G.K.* The JPEG Still Picture Compression Standard // Communication of the ACM, 1991. – Vol. 34. – № 4. – P. 31–44.

19. Грабар І.Г., Колодницька Р.В., Подчащинський Ю.О. Комп'ютеризована технологія дослідження кінетики пружно-пластичного деформування та руйнування твердих тіл // Вісник ЖІТІ. – 1998. – № 7. – С. 181–184.
20. Подчащинський Ю.О. Похибки визначення лінійних розмірів елементів зображення в програмно-апаратному комплексі автоматизованої обробки відеоінформації // Вісник ЖІТІ. – 1999. – № 11. – С. 179–187.
21. Подчащинський Ю.О. Метод розрахунку похибок геометричних вимірювань на цифрових зображеннях // Вісник ЖІТІ. – 2000. – № 14. – С. 166–175.
22. Гнилицький В.В., Подчащинський Ю.А. Программно-апаратний комплекс автоматизованої обробки візуальної інформації о пластической деформации твердых тел // Материали 8-го міжнародного семінара-выставки “Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики”. – Ялта – Киев, 2000. – С. 12–13.

ПОДЧАШИНСЬКИЙ Юрій Олександрович — старший викладач кафедри автоматики та управління в технічних системах Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

– цифрова обробка зображень.

Подано 15.09.2000

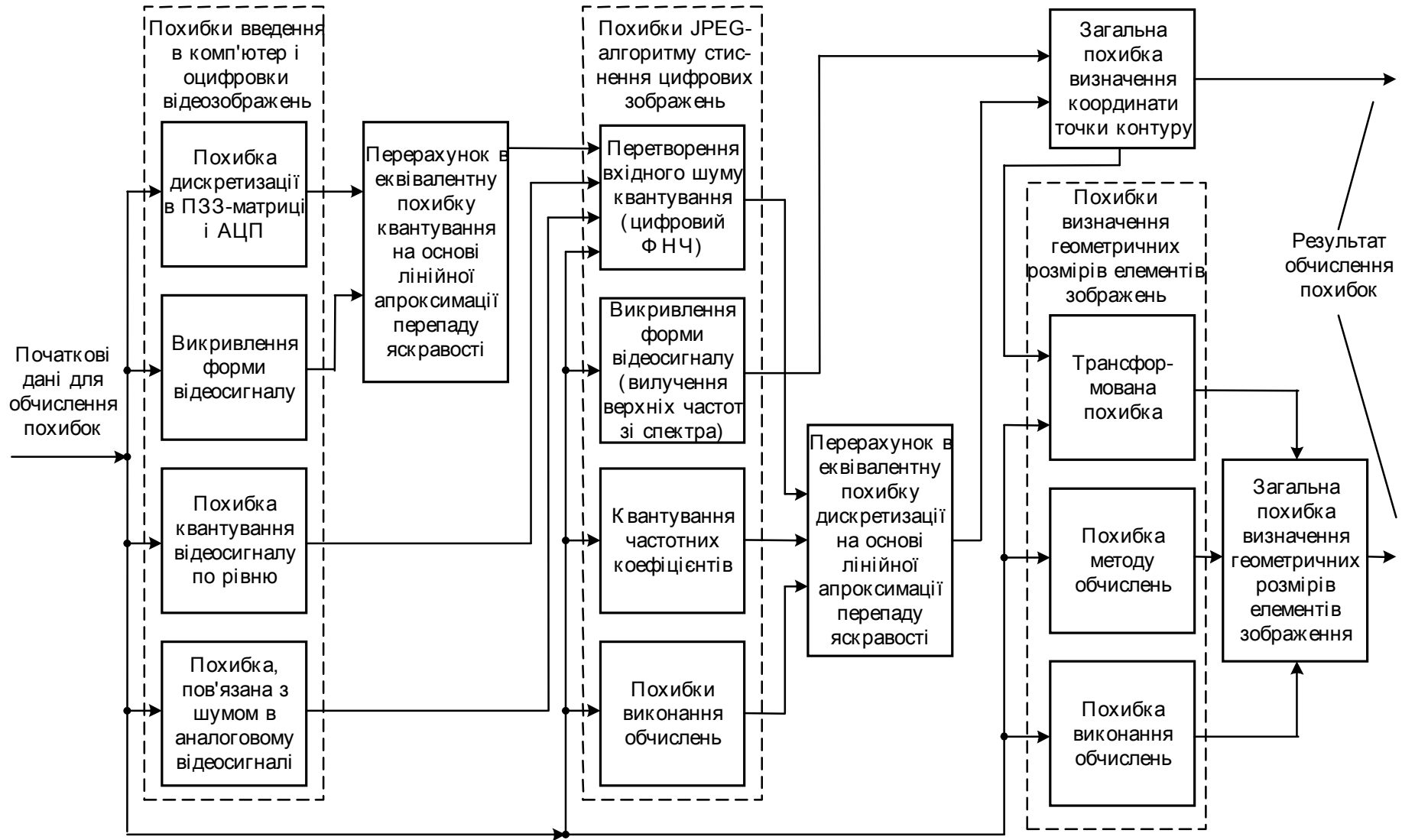


Рис. 1