

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИ КОНТРОЛІ ПОВЕРХОНЬ ОБ'ЄКТІВ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ

М. Мейірбеков<sup>1</sup>, Т. А. Манько<sup>2</sup>, К. В. Козіс<sup>3</sup>

<sup>1</sup> НАО «Казахський національний дослідницький технічний університет імені  
К.І. Сатпаєва», Казахстан

<sup>2</sup> Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Україна

<sup>3</sup> ДП «Конструкторське бюро «Південне» імені М.К. Янгеля, Україна

**Анотація.** Поверхні технічних об'єктів, які недоступні для візуального спостереження досліджені шляхом вивчення цифрових зображень, що містять інформацію про їх стан та якість. Отримані дані дозволяють порівнювати та визначати класи нормальних та аномальних цифрових зображень. Результати та висновки візуального аналізу були підтвержені статистичною обробкою матричних вимірювань цифрових зображень. У контексті відсутності апріорних даних щодо статистичних закономірностей експериментальних вимірювань яскравості цифрових зображень технічних об'єктів, що розробляються та недоступні для спостереження, їх стан та якість слід контролювати всебічно та поетапно. На першому етапі шляхом візуального аналізу цифрових зображень проводиться їх класифікація з виділенням класу аномальних цифрових зображень та класу зображень, поверхні яких вважаються нормальними. На другому етапі за допомогою статистичної обробки вимірювальних матриць формуються дані для візуально-аналітичного аналізу та перевірки гіпотез про стан контрольованих поверхонь технічних об'єктів та підтвердження результатів їх класифікації візуальним оглядом цифрових зображень. Методи обробки матриць експериментальних вимірювань - це оцінка їх математичних очікувань, дисперсій, коефіцієнтів кореляції, емпіричних функцій та законів розподілу ймовірностей. Ці інтегровані оцінки є інформативними показниками статистичної однорідності вимірювальних зразків як випадкових величин. Вони використовуються при проектуванні, розробці та випробуванні ракетно-космічних об'єктів. В результаті роботи запропоновано новий метод візуально-аналітичної обробки цифрових зображень для контролю поверхонь об'єктів ракетно-космічної техніки під час їх проектування та випробувань.

**Ключові слова:** ЦИФРОВІ ЗОБРАЖЕННЯ, ФЛУКТУАЦІЇ, ВІЗУАЛЬНО-АНАЛІТИЧНИЙ АНАЛІЗ

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ КОНТРОЛЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОБЪЕКТОВ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ

М. Мейирбеков<sup>1</sup>, Т. А. Манько<sup>2</sup>, К. В. Козис<sup>3</sup>

<sup>1</sup> НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени  
К.И. Сатпаева», Казахстан

<sup>2</sup> Днепровский национальный университет имени Олеся Гончара, Украина

<sup>3</sup> ГП «КБ «Южное» имени М.К. Янгеля, Украина

**Аннотация.** Поверхности технических объектов, которые недоступны для визуального наблюдения, исследованы путем изучения цифровых изображений, содержащих информацию об их состоянии и качестве. Полученные данные позволяют сравнивать и определять классы нормальных и аномальных цифровых изображений. Результаты и выводы визуального анализа были подтверждены статистической обработкой матричных измерений цифровых изображений. В контексте отсутствия апріорных данных о статистических закономерностях экспериментальных измерений яркости цифровых изображений технических объектов, которые разрабатываются и недоступны для визуального наблюдения, их состояние и качество следует контролировать последовательно и поэтапно. На первом этапе путем визуального анализа цифровых изображений проводится их классификация с выделением класса аномальных цифровых изображений и класса изображений, поверхности которых считаются нормальными. На втором этапе с помощью статистической обработки экспериментальных измерений формируются данные для визуально-аналитического анализа и проверки гипотез о состоянии контролируемых поверхностей технических объектов. Обработка матриц экспериментальных измерений - это оценка их математических ожиданий, дисперсий, коэффициентов корреляции, эмпирических функций и законов распределения вероятностей. Эти интегрированные оценки являются информативными показателями статистической однородности измерительных данных как случайных величин. Они используются при проектировании, разработке и испытаниях объектов ракетно-

космической технике. В результате работы предложен новый метод визуально-аналитической обработки цифровых изображений для контроля поверхностей объектов ракетно-космической техники при проектировании и испытаниях.

Ключевые слова: ЦИФРОВЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ, ФЛУКТУАЦИИ, ВИЗУАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ.

## PROSPECTIVE TECHNOLOGIES OF DIGITAL IMAGE PROCESSING IN CONTROL OF OBJECT SURFACES ROCKET AND SPACE EQUIPMENT

M. Meirbekov<sup>1</sup>, T. Manko<sup>2</sup>, K. Kozis<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Satbayev University, the Republic of Kazakhstan

<sup>2</sup>Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine

<sup>3</sup>SDO Yuzhnoye, Ukraine

**Abstract.** State control method of visual inaccessible surfaces of technical objects was examined by research of digital images which contains information about their state and quality. Received data lets classify compare and mark out the classes of normal and abnormal digital images. Results and conclusion of visual analysis were confirmed by statistical treatment of matrix measurements of digital images. In the context of a lack of a priori data on the informativeness and statistical regularities of experimental matrices for measuring the brightness of digital images of technical objects being developed and inaccessible for observation, their condition and quality should be monitored in a comprehensive manner and in stages. At the first stage, by visual analysis of digital images, their classification is carried out with the allocation of a class of anomalous digital images and a class of images, the controlled surfaces of which are considered normal. At the second stage, by means of statistical processing of measurement matrices, data are generated for visual - analytical analysis and verification of hypotheses about the state of the controlled surfaces of technical objects and confirmation of the results of their classification by visual examination of digital images. Methods of processing matrices of such experimental measurements are an estimation of their mathematical expectations, variances, correlation coefficients, empirical functions and probability distribution laws. These integrated estimates are informative indicators of statistical homogeneity of measurement samples as random variables. They are used in the design, development and testing of rocket and space technology facilities. As a result of the work, a new method of visual-analytical processing of digital images was proposed to control the surfaces of objects of rocket and space technology during their design and testing.

**Keywords:** DIGITAL IMAGES, FLUCTUATIONS, VISUAL-ANALYTICAL

### Вступ

Візуальний метод спостереження та контролю поверхонь технічних об'єктів – один із видів оцінки їх працездатності. Досвідчені фахівці знають, які ділянки поверхонь можуть мати ту або іншу інформацію про стан технічних конструкцій, зварних з'єднань, теплозахисних покриттів, які контролюються. При проведенні випробувань вони піддаються різним видам впливу (розтягненню, стисненню, тиску, нагріву). За результатами візуального спостереження можуть прийматися рішення про їх стан. Такі рішення носять суб'єктивний характер и можуть бути суперечливі.

Цифрові зображення, як матриці вимірювань яскравості, також мають цю інформацію та можуть не тільки розглядатися, але й математично

оброблюватися. Їх статистичний аналіз дозволяє підтверджувати або спростовувати висновки і рішення, які приймаються за результатами візуального розглядання цифрових зображень.

### Постановка задачі дослідження

При створенні конструкцій ракетно-космічної техніки і проведенні випробувань контроль їх якості можливо здійснювати за допомогою статистичного аналізу експериментальних цифрових зображень дослідних поверхонь шляхом вивчення теоретичних математичних моделей статистичних закономірностей вимірювань яскравості матриць цифрових зображень. Методи обробки матриць таких експериментальних вимірювань – це оцінка їх математичних очікувань, дисперсій, коефіцієнтів кореляції, емпіричних функцій та законів розподілу ймовірностей.

Ці інтегральні оцінки є інформативними показниками статистичної однорідності вибірок вимірювань як випадкових величин. Вони використовуються при проектуванні, розробці та випробуваннях об'єктів ракетно-космічної техніки. Серед них найбільш інформативними є емпіричні дискретні функції розподілу ймовірностей при порівнянні матриць незалежних випадкових величин з невідомими статистичними закономірностями. Розглянемо й проведемо статистичний аналіз експериментальних цифрових зображень поверхонь технічних об'єктів, які недоступні для візуального спостереження. Почнемо вивчення їх з теоретичних математичних моделей статистичних закономірностей вимірювань яскравості матриць цифрових зображень.

Метою роботи є розробка візуально-аналітичного методу контролю поверхонь технічних об'єктів ракетно-космічної техніки при проектуванні, виготовленні та випробуваннях.

### **Рішення задачі**

Дослідження зображень починається з розуміння або інтерпретації зображень як зорових образів. Ці образи хоча й носять суб'єктивний характер, але дозволяють розрізнити малу, середню і велику інтенсивність, виділяти їх ділянки різної форми, окреслити межі, лінії контурів. Таким чином можна з численних зображень поверхні виділити схожі один на одного зображення та відмінні від них. Це початковий процес контролю – візуальний метод розпізнавання і класифікації численних зображень ділянок поверхні контрольованого виробу.

Розглянуті зображення створюються електромагнітним випромінюванням у видимому спектрі. Видимі зображення широко застосовують під час дистанційного зондування земної поверхні, з метою глобального екологічного моніторингу, а також у виробничому контролі матеріалів. Найчастіше використовують випромінювання видимого синього кольору (довжина хвилі –  $0,45 \div 0,52$  мкм), видимого зеленого

(довжина хвилі –  $0,52 \div 0,60$  мкм), видимого червоного (довжина хвилі –  $0,63 \div 0,69$  мкм).

Зображення ділянок якісних технічних об'єктів повинні бути майже однаковими, однорідними. Таких зображень буде більшість, якщо поверхня відповідає вимогам норми. Завдання візуального аналізу цифрових зображень полягає у виділенні аномальних і описі їх відмінностей від виділеної більшості однорідних, що перебувають у нормі. Оцінка інформативності вихідних цифрових зображень пов'язана із суб'єктивними й об'єктивними факторами, які в загальному випадку залежні від зорового сприйняття інформації. Візуальний аналіз являє собою багатоступеневий процес перетворення, нагромадження й відображення інформації, порівняння численних цифрових зображень між собою за різними інформаційними ознаками. Це результат досвіду і навичок візуального контролю цифрових зображень.

Важливою особливістю процесу виявлення, розрізнення й ідентифікації об'єктів у зображеннях є той факт, що вони відрізняються від початкового ряду ознак. У першу чергу слід виділити відмінність яскравіших, колірних, просторових ознак досліджуваної поверхні. Розглядаючи інформаційні ознаки цифрових зображень, слід зазначити, що вони можуть проявлятися в якійсь кількості класів об'єктів ознак, і кожний конкретний клас об'єктів має свою деяку кількість об'єктів, наділених просторовими й іншими додатковими відмінностями. Виділимо основні інформаційні ознаки, які можна використовувати для вирішення завдань візуального аналізу і контролю поверхні за цифровими зображеннями:

1) яскравісні ознаки (ознаки, що містять число градацій в інтервалі яскравостей  $X_{\min}$  до  $X_{\max}$ );

2) колірні ознаки;

3) просторові ознаки (ознаки, що відображають форму, лінійні розміри, конфігурацію виявлених аномалій) [1].

Висновки візуального аналізу цифрових зображень повинні бути

підтвержені і доповнені шляхом статистичної обробки експериментальних матриць вимірювань цифрових зображень та порівняння їх параметрів. Це математичні сподівання, дисперсії і закони розподілу ймовірностей, що містять інформацію про стан поверхонь. Шляхом обробки матриць вимірювань  $\overline{X}_k(i, j)$ , де  $k$  – номер цифрового зображення, одержимо їх оцінки за формулами:

1) оцінка математичного сподівання – це середнє значення вимірювань кожної матриці

$$\overline{X^*}(k) = \frac{1}{n_1 n_2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} X_k(i, j), \quad (1)$$

де  $n_1, n_2$  – розміри матриць,  $k = 1, 2, \dots, N$  – кількість оброблюваних цифрових зображень;

2) оцінка вибіркової дисперсії – середнє значення відхилення вимірювання  $X_k(i, j)$  від свого середнього значення  $S^*(k)$ .

$$D^*(k) = \frac{1}{n_1 n_2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} (X_k(i, j) - \overline{X^*}(k))^2. \quad (2)$$

Статистичні закономірності випадкових величин  $X_k(i, j)$  – це графічне зображення змін відбивної здатності поверхні кожного досліджуваного цифрового зображення.

У математичній статистиці це графічне зображення називається гістограмою. У нашому дослідженні яскравість оцінювалася в інтервалі від зовсім чорного (0) до зовсім білого (256 одиниць яскравості). Це означає, що зміни яскравості обмежені інтервалом  $0 \leq X(i, j) \leq 256$ . Цей інтервал було розділено на 100 ділянок розміром  $\Delta X = 2,56$ . Ділянки були пронумеровані від 1 до 100 ( $1 \leq m \leq 100$ ). Позначимо значення яскравості  $X(i, j) = q$ , де  $q = 0, 1, 2, \dots, 256$  цілі числа. Межі ділянок дорівнюють  $X(m) = X(m-1) + \Delta X = 2,56 m$ , де  $m$  – номер ділянки;  $\Delta X(m) = X(m) - X(m-1)$ .

Якщо розміри матриці  $n_1$  і  $n_2$  ( $i = 1, 2, \dots, n_1$  та  $j = 1, 2, \dots, n_2$ ), то загальне число

вимірювань дорівнює  $n = n_1 \cdot n_2$ . Визначимо число вимірювань  $X(i, j) = q$ , що потрапляють в інтервали від  $X(m-1)$  до  $X(m)$ . Для них повинна виконуватися нерівність

$$X(m-1) < X(i, j) \leq X(m), \quad X(0) = 0.$$

Число вимірювань  $n(m)$ , що потрапляють у ділянку  $X(m) - X(m-1) = \Delta X(m)$ , обчислюється за формулою

$$\sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} [\text{sgn}(X(i, j) - X(m)) - \text{sgn}(X(m-1) - X(i, j))] \quad (3)$$

Припускаючи, що  $m = 1, 2, \dots, 100$ , одержимо вибірку числа вимірювань  $X(i, j)$ , що потрапляють в інтервали  $\Delta X(1), \Delta X(2), \dots, \Delta X(100)$ . Гістограмне число – це відхилення  $n(m)/(n_1 n_2) = n(m)/n$ , частота потрапляння вимірювань  $X(i, j)$  у гістограмні інтервали  $\Delta X(m)$ . Вибірка  $n(m)/n$  розглядається як оцінка закону розподілу ймовірностей яскравості досліджуваної поверхні.

Гістограма як цифрове зображення відбивної здатності досліджуваної площини містить значно більше інформації про стан поверхонь, ніж знання середнього значення і вибіркової дисперсії.

Гістограма як послідовність частот  $\frac{n(m)}{n}$ , ( $m = 1, 2, \dots, 100$ ) має початок  $\frac{n(m_1)}{n} > 0$  і

кінець  $\frac{n(m_2)}{n}$ . У точці  $m_1$  видиме

мінімальне значення яскравості  $X(m_1)$ , у точці  $m_2$  – видима максимальна яскравість  $X(m_2)$ . Їхня різниця  $\Delta X(m_1, m_2) = X(m_2) - X(m_1)$  – це числовий показник розкиду (розсіювання), аналог вибіркової дисперсії. Під час візуального аналізу – це нечітка оцінка площ чорного, сірого, білого. За гістограмами можна визначити також ділянку  $\Delta X(m_3)$ , у якій частота  $\frac{n(m_3)}{n}$  максимальна. Таких ділянок може бути декілька  $\Delta X(m_4)$  і т.д.

Таким чином, результати комп'ютерно-аналітичної обробки одного цифрового зображення можна подати у вигляді:

1) вибірки гістограмних чисел

$$\frac{n(m)}{n}, m=1,2,\dots,100;$$

2) таблиці числових характеристик цифрового зображення: середнє значення, вибіркова дисперсія і параметри гістограми.

Інтегральну оцінку стану поверхонь технічних об'єктів проводять шляхом узагальнення результатів візуального аналізу цифрових зображень класу норми і груп аномальних з тими або іншими відхиленнями від норми. Найбільша кількість цифрових зображень – у класі норми. Перший інтегральний показник – середнє значення всіх частинних середніх  $\overline{X(r)}$  і їх вибіркова дисперсія  $D^*(r)$ .

$$\overline{X_1} = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \overline{X(r)}, \quad (4)$$

де  $r$  – номер цифрового зображення з першого класу;

$$D_1^* = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R (\overline{X_1} - \overline{X(r)})^2, \quad (5)$$

де  $R$  – кількість зображень першого класу.

Ці показники характеризують відбивальні властивості поверхні і можуть використовуватися для порівняння з іншими зразками. Їх можна також використовувати для виявлення зображень, що не належать до класу норми. З імовірністю  $P = 0,95$  будь-яка випадкова величина, закон розподілу якої близький до закону Гауса (великі суми випадкових величин, що належать до них), яка задовольняє таку нерівність: вона більша різниці свого математичного сподівання і двох коренів із дисперсії та менша їх суми

$$\overline{X_1} - 2\sqrt{D_1^*} \leq \overline{X(r)} \leq \overline{X_1} + 2\sqrt{D_1^*}. \quad (6)$$

Ті зображення, у яких нерівність не задовольняється, виключають з класу норми і досліджують повторно [2-3].

#### Наукова новизна

В результаті роботи вперше запропоновано метод візуально-аналітичної обробки цифрових зображень для контролю поверхонь об'єктів ракетно-

космічної техніки при їх проектуванні та виготовленні.

#### Висновки

Вперше запропоновано рішення задачі дослідження цифрових зображень поверхонь технічних об'єктів, які недоступні для спостереження. Контроль їх стану якості повинен проводитись комплексно.

На першому етапі шляхом візуального спостереження проводиться класифікація цифрових зображень з виділенням класу норма та відмінні від них.

На другому етапі шляхом статистичної обробки матриць цифрових зображень формуються дані для візуально-аналітичного аналізу та перевірка гіпотез о стані поверхонь технічних об'єктів, які контролюються.

В результаті роботи вперше запропоновано метод візуально-аналітичної обробки цифрових зображень для контролю поверхонь об'єктів ракетно-космічної техніки при їх проектуванні, виготовленні та при проведенні випробувань.

#### Бібліографічні посилання

1. В.Т. Фесенко, Т.Ю. Фесенко. Компьютерная обработка и распознавание изображений: учеб. пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. 192 с.
2. Т.А. Манько, И.А. Гусарова, К.В. Козис. Контроль состояния визуально недоступных поверхностей технических объектов. Системные технологии: сб. науч. тр, Днепр, 2017. Вып.2(109), С.87-94.
3. Malik Jitendra, Sergey Belogie, Thomas Leung, Jianbo Shi. Contour and Texture Analysis for Image Segmentation. International Journal of Computer Vision, 2001. V. 43. No. 1. P. 7-27.

*Надійшла до редколегії 27.10.20*

## Відомості про авторів



Мухаммед Мейірбеков.  
Казахстан. Satbayev  
University, Almaty, the  
Republic of Kazakhstan,  
докторант.  
Сфера інтересів -  
композиційні та теплозахисні  
матеріали.



Козіс Кристина Вікторівна.  
Україна. ДП «КБ «Південне»  
імені М.К. Янгеля.  
Провідний інженер, кандидат  
технічних наук.  
Сфера інтересів -  
композиційні та теплозахисні  
матеріали.



Манько Тамара Антонівна.  
Україна. Дніпровський  
національний університет  
імені Олеся Гончара.  
Професор, доктор технічних  
наук.  
Сфера інтересів -  
композиційні та теплозахисні  
матеріали.

УДК 621.45.046.4:620.22

DOI: 10.15421/452010

## МЕТОДИ ГРАФІЧНОЇ ПОБУДОВИ ПРОЦЕСА ВИГОТОВЛЕННЯ СИЛОВОЇ ОБОЛОНКИ КОМПОЗИТНИХ ПАЛИВНИХ БАКІВ

О.В. Літот<sup>1</sup>, Т.А. Манько<sup>2</sup>;

<sup>1</sup>ДП «Конструкторське бюро «Південне» імені М.К. Янгеля»

<sup>2</sup>Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

**Анотація.** Стаття посвячена питанню моделювання процесу виготовлення силової оболонки композитних паливних баків, які виготовляються методом намотування. При створенні деталей із композитів, одночасно вирішується завдання по проектуванню, створенню матеріалу і технології виготовлення. Беручи до уваги таку особливість композитів, удосконалення технології виготовлення є одною із самих важливих аспектів, визначаючих облік всієї конструкції. Таким чином, для отримання виробів, що відповідають сучасним вимогам ракетно-космічної техніки і визначаються високим коефіцієнтом вагової ефективності, є потреба в постійному вдосконаленню технології виготовлення. Сучасним напрямком розвитку технології є її моделювання за допомогою програмних інструментів. Їх використання дозволяє не тільки спростити розуміння процесу створення деталей із композитів, а і з високою автоматизацією опрацьовувати велику кількість конструктивно-технологічних рішень і структурних компоновок. Це дозволяє з високою ефективністю розробляти технологію виготовлення на етапі проектування, беручи до уваги технологічні і конструктивні особливості, які виявляють на етапі виготовлення. Висока увага приділена проблематиці формування поверхні намотування шарів силової оболонки в зоні полюсного отвору, у тому числі для паливних баків з днищами складної геометрії. Розглянутий процес графічної побудови формоутворення силової оболонки безлейнерного композитного паливного баку з малим полюсним отвором. Для підтвердження проведених робіт виготовлена дослідна конструкція суцільнокомпозитного паливного баку з малим полюсним отвором з вуглепластику. Ефективність прийнятих конструктивно-технологічних рішень підтверджена характером руйнування при випробуваннях. Представлена оцінка отриманих результатів і висновків про проведену роботу.  
**Ключові слова:** ПАЛИВНИЙ БАК, ВУГЛЕПЛАСТИК, МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ, ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ.