

УДК 531.7:004.932

Ю.О. Подчашинський, к.т.н., доц.  
Житомирський державний технологічний університет

## ФРАКТАЛЬНА ОБРОБКА ТА СТИСНЕННЯ ДВОВИМІРНОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРО МЕХАНІЧНІ ВЕЛИЧИНИ

*Розглянуто застосування методів фрактального аналізу відеозображень до обробки та стиснення двовимірної вимірювальної інформації про механічні величини. Досліджено фрактальні властивості цифрових відеозображень, що містять цю інформацію. Дано рекомендації щодо вибору параметрів процедур обробки та стиснення двовимірної вимірювальної інформації про механічні величини.*

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її актуальність.** Цифрові відеозображення можуть містити двовимірну вимірювальну інформацію про геометричні характеристики об'єктів, що виготовляються в ході виробничого процесу або досліджуються в ході наукового експерименту. Якщо наявності є послідовність відеозображень, що відповідають певним моментам часу, то на цій основі можуть бути обчислені інші механічні величини (переміщення об'єктів, їх швидкість тощо). Для отримання двовимірної вимірювальної інформації про механічні величини необхідно сформулювати цифрове відеозображення, яке представляє двовимірний образ об'єкта вимірювань, ввести це відеозображення в обчислювальний пристрій та виконати цифрову обробку [1, 2, 3].

Цифрова обробка, що проводиться з метою отримання вимірювальної інформації, передбачає виконання певного набору процедур аналізу відеозображень за деякими алгоритмами. Використання фракталів для аналізу відеозображень, що містять вимірювальну інформацію, дозволяє виконати сегментацію цих відеозображень та визначити контури об'єктів, що досліджуються, а також виконати такі допоміжні операції, як фрактальне стиснення відеозображень та визначення їх фрактальної розмірності. Всі ці процедури мають багато різних параметрів, що впливають на результати обробки відеозображень. Тому актуальною проблемою є дослідження фрактальних властивостей відеозображень, що містять вимірювальну інформацію, і на цій основі визначення параметрів процедур обробки відеозображень, що забезпечують зменшення похибок вимірювальної інформації про механічні величини.

**Аналіз існуючих досліджень і публікацій.** Відомо ряд методів для виконання операцій по обробці та стисненню цифрових відеозображень [4, 5, 6, 7]. Всі вони розділяються на дві великі групи:

- методи обробки відеозображень, призначених для візуального сприйняття їх людиною, з метою покращення візуальної якості цих відеозображень;
- методи обробки відеозображень в системах технічного зору та інформаційно-вимірювальних системах з метою отримання інформації про об'єкти, що досліджуються.

Всі ці методи мають певні обмеження, пов'язані з дуже складною структурою відеозображень, що оброблюються, складністю математичного опису відеозображень та обмеженнями на кількість інформації, що може оброблятися за допомогою апаратних засобів. Успіхи інформаційно-комп'ютерних технологій поступово призводять до зняття цих обмежень та дозволяють застосовувати до цифрових відеозображень нові математичні методи та алгоритми обробки. Одним із таких перспективних методів обробки є використання математичної теорії фракталів для обробки відеозображень [8, 9].

Особливо перспективним цей напрям є стосовно відеозображень об'єктів, що мають складну форму і структуру природного або штучного походження. Наприклад, це можуть бути промислові вироби з природного каменю, поверхня яких має природні текстури і структуру, і характеристики яких потрібно вимірювати і контролювати в процесі виробництва [10].

Існує ряд методів фрактальної обробки і стиснення цифрових відеозображень [11, 12], а також обробки вимірювальної та діагностичної інформації на таких відеозображеннях [13, 14, 15]. Однак більшість з них орієнтована на пошук і розпізнавання об'єктів, що мають певну форму або текстуру. Питання вимірювання механічних величин, похибок вимірювань та стиснення вимірювальної інформації висвітлено недостатньо.

Наприклад для процедури стиснення двовимірної вимірювальної інформації потрібно використовувати методи, які передбачають втрату деякої частини інформації, що міститься у відеозображенні [1, 3]. Найбільш поширеними є методи на основі кодування з перетворенням [1]. Перш за все, це JPEG-алгоритм стиснення відеозображень на основі дискретного косинусного перетворення. Існують модифікації цього алгоритму (алгоритм JPEG 2000) на основі wavelet-перетворення початкового відеозображення. Однак, результати досліджень, наведені в [11, 12], вказують на перевагу методів

фрактального стиснення над JPEG-алгоритмом. Ця перевага проявляється в кращій якості відеозображень, відновлених після стиснення, при однакових ступенях стиснення. Відповідно слід очікувати і менших похибок вимірювальної інформації.

**Метою проведених досліджень** є застосування методів фрактального аналізу відеозображень до обробки та стиснення двовимірної вимірювальної інформації про механічні величини, а також вибір параметрів процедур фрактальної обробки і стиснення цієї інформації, які забезпечують зменшення похибок вимірювань.

**Викладення основного матеріалу досліджень.** Цифрові відеозображення формуються, передаються і накопичуються за допомогою певного набору апаратних засобів. У ході цих операцій вимірювальна інформація, що міститься на відеозображеннях, зазнає ряду перетворень і піддається впливу негативних факторів. Відповідно в обчислювальному пристрої (цифровій ЕОМ) необхідно проводити попередню обробку відеозображень з метою відновлення вимірювальної інформації і нейтралізації впливу негативних факторів. Попередня обробка включає такі процедури, як фільтрація шумів, сегментація відеозображень, їх відновлення після стиснення тощо. Всі ці процедури можуть базуватися на фрактальних методах обробки і стиснення відеозображень. У даній роботі було проведено дослідження фрактальної розмірності відеозображень, що містять вимірювальну інформацію про об'єкти природного походження або вироби з природних матеріалів, та визначено рекомендації по можливості їх стиснення та обробці на основі фракталів.

Можливість і ефективність застосування фрактальних методів обробки до відеозображень конкретних об'єктів залежить від наявності фрактальних властивостей у цих об'єктів.

Фрактальні властивості об'єктів, що містяться на відеозображенні можуть бути оцінені за допомогою їх фрактальної розмірності  $D$ . Фрактальна розмірність (розмірність Хаусдорфа–Безиковича) суттєво відрізняється від топологічної розмірності  $D_T$  і для об'єктів, що мають фрактальні властивості, є дробною величиною [8, 16]. Визначення фрактальної розмірності включає поняття міри  $M_d$ , що характеризує відстань між точками деякої множини точок  $\Omega$  та взаємне розташування цих точок в просторі. У даному випадку  $d$  – це розмірність міри  $M_d$ , що при виконанні певних умов дорівнює фрактальній розмірності  $D$  об'єкта, який досліджується і який складається з множини точок  $\Omega$ . Ці умови визначаються з рівняння:

$$M_d = \gamma(d)N(\delta)\delta^d \xrightarrow{\delta \rightarrow 0} \begin{cases} 0 & \text{при } d > D, \\ \infty & \text{при } d < D, \end{cases} \quad (1)$$

де  $\gamma$  – коефіцієнт, що враховує геометричну форму просторової фігури, за допомогою якої покривається множина точок  $\Omega$  (для квадратів і кубів  $\gamma = 1$ );  $N$  – кількість квадратів або кубів, які повністю покривають множину  $\Omega$ ;  $\delta$  – довжина ребра цих квадратів або кубів.

Для розробки обчислювальних алгоритмів фрактальної розмірності використовують той факт, що при  $\delta \rightarrow 0$  з формули (1) випливає залежність:

$$N(\delta) \sim \frac{1}{\delta^D},$$

або в логарифмічній формі

$$\lg(N(\delta)) = aD \lg(\delta), \quad (2)$$

де  $a$  – коефіцієнт пропорційності.

Відповідно до формули (2) будують графік залежності  $\lg(N(\delta))$  від  $\lg(\delta)$  і за ним визначають фрактальну розмірність  $D$ .

Для відеозображень, що містять вимірювальну інформацію, фрактальна розмірність може бути визначена за двома варіантами:

– фрактальна розмірність функції яскравості точок відеозображення, що розташована в тривимірному просторі (дві координати  $x$  і  $y$  – це координати в площині відеозображення, третя координата  $B$  – яскравість) і має значення в інтервалі  $2 \leq D \leq 3$ ;

– фрактальна розмірність контурів структурних елементів відеозображення, що розташовані в площині відеозображення, в даному випадку  $1 \leq D \leq 2$ .

Розглянемо приклад визначення фрактальної розмірності відеозображення, що містить поверхню будівельних виробів з природного каменю. Функція яскравості такого відеозображення наведена на рис. 1. Зауважимо, що в даному випадку поверхня каменю (габро) є ахроматичною і достатньо досліджувати функцію яскравості, інакше для хроматичних поверхонь потрібно розглядати 3 функції у відповідності до однієї з стандартних колориметричних систем.

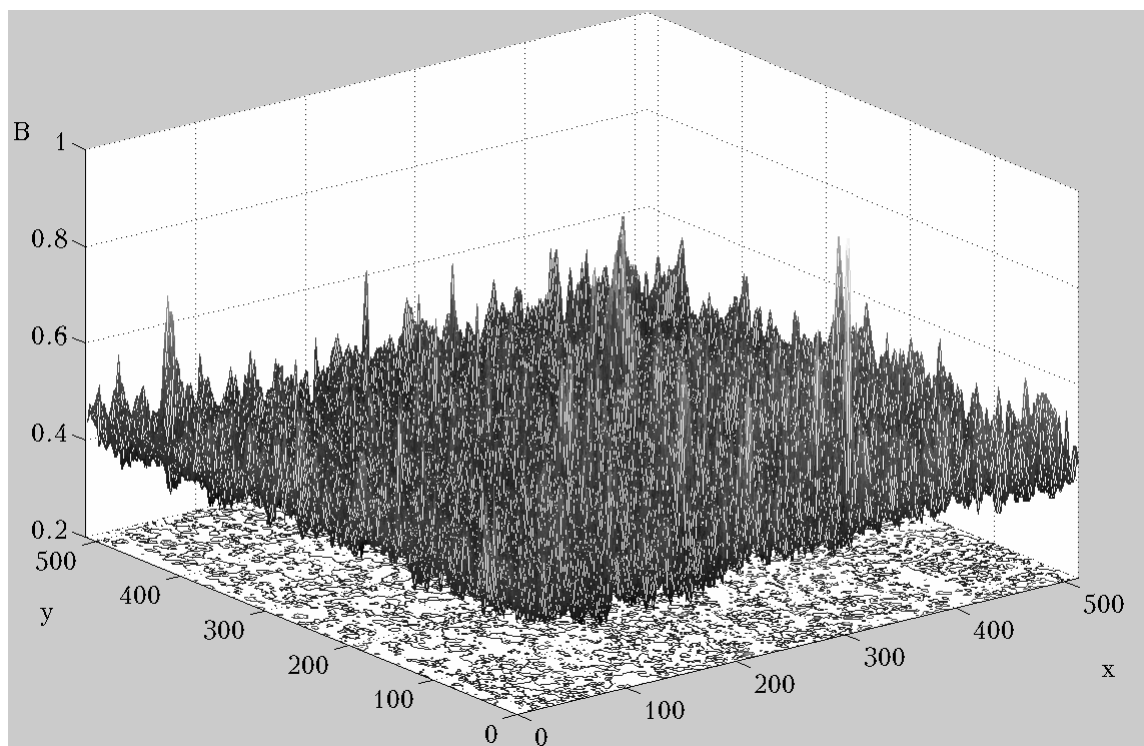


Рис. 1. Приклад функції яскравості для цифрового відеозображення поверхні природного каменя

Для таких відеозображень були побудовані графіки залежностей  $\lg(N(\delta))$  від  $\lg(\delta)$  (точки і крива на рис. 2) і по них визначалась фрактальна розмірність  $D$  функції яскравості шляхом лінійної апроксимації за методом найменших квадратів (пряма лінія на рис. 2). Також розглядався варіант обчислення фрактальної розмірності функції яскравості при меншому розмірі в дискретних точках цифрового відеозображення (рис. 3) та варіант обчислення фрактальної розмірності контурів структурних елементів цифрового відеозображення (рис. 4).

Аналіз цих результатів дозволяє відзначити певні особливості обчислення фрактальної розмірності та застосування фрактальних методів обробки і стиснення до цифрових відеозображень, що містять вимірювальну інформацію про механічні величини.

На фрактальні властивості об'єктів впливає дискретний характер відеозображення, оскільки теоретично розмір блоку, що аналізується, наближається до нуля, а реально він не може бути меншим, ніж одна дискретна точка. Зменшувати розмір квадратів або кубів, які покривають множину  $\Omega$ , до нуля можна для безперервного зображення, а для цифрового відеозображення мінімальний розмір квадратів або кубів – це є розмір дискретної точки відеозображення.

Також слід враховувати вплив низькочастотної фільтрації (інтегруючих властивостей) вимірювального каналу, неідеальність апаратних засобів формування цифрових відеозображень, наявність шумів та інших викривлень вимірювальної інформації. Тому при визначенні фрактальної розмірності відеозображення необхідно обмежити мінімальний розмір квадратів або кубів, які покривають множину  $\Omega$ .

Також потрібно враховувати мінімальний розмір структурних елементів, що наявні на відеозображенні, та мають фрактальні властивості. Цей розмір є порогом прояву фрактальних властивостей, які можна спостерігати на відеозображенні. Зменшення розміру квадратів або кубів, які покривають множину  $\Omega$ , далі за цей поріг не має сенсу.

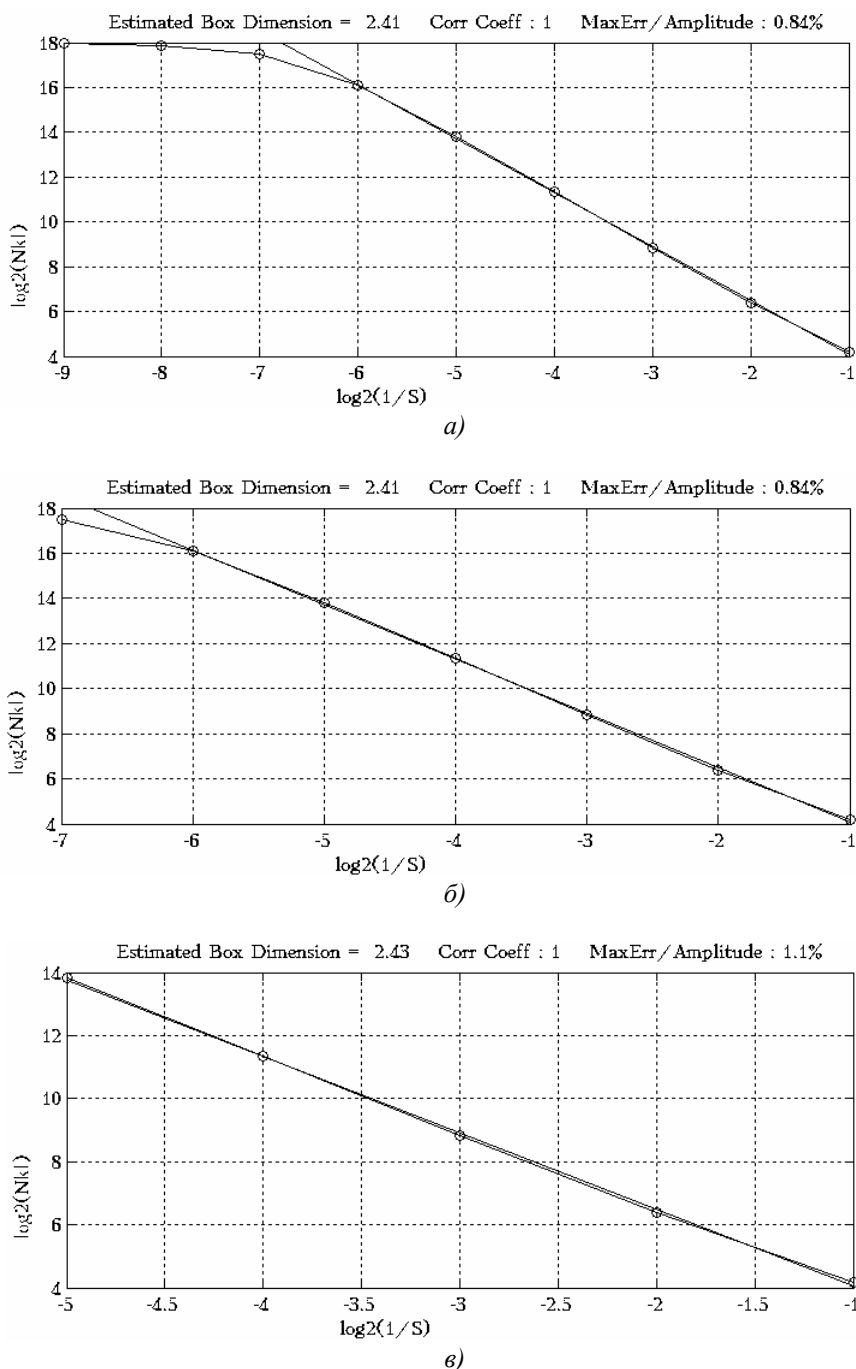


Рис. 2. Розрахунок фрактальної розмірності функції яскравості (розмір цифрового відеозображення 512×512 дискретних точок, мінімальний розмір блоку, що аналізується, 1×1 дискретних точок (а), 4×4 дискретних точок (б), 16×16 дискретних точок (в))

Вплив всіх наведених вище факторів приводить до того, що графік залежності  $\lg(N(\delta))$  від  $\lg(\delta)$  при малому розмірі блоків, що аналізуються, не відповідає фрактальній теорії (немає постійного нахилу графіка). Це і є вплив дискретності на фрактальні властивості цифрового відеозображення. Для правильного обчислення фрактальної розмірності цифрового відеозображення цю ділянку графіка потрібно виключити з розгляду. Тому мінімальний розмір рангового блоку квадродрева не повинен бути меншим мінімального розміру структурного елемента, що має фрактальні властивості, за умови правильного вибору розподільчої спроможності відеозображення.

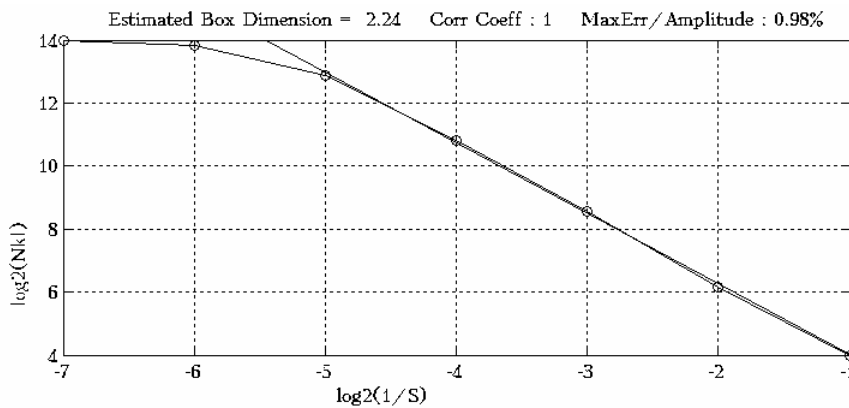


Рис. 3. Розрахунок фрактальної розмірності функції яскравості (розмір цифрового відеозображення  $128 \times 128$  дискретних точок, мінімальний розмір блоку, що аналізується,  $1 \times 1$  дискретних точок)

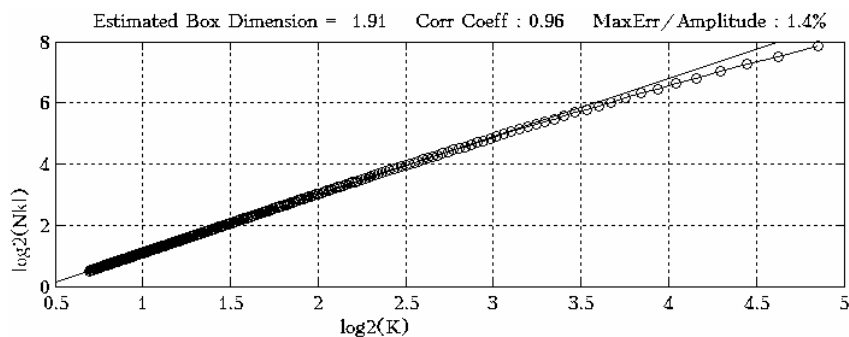


Рис. 4. Розрахунок фрактальної розмірності контурів структурних елементів цифрового відеозображення (розмір  $512 \times 512$  дискретних точок)

Відповідно до рис. 2 мінімальний розмір блоків, що має фрактальні властивості, складає  $8 \times 8$  дискретних точок. Враховуючи, що розподільча здатність цього відеозображення дорівнює 300 dpi (дискретних точок на дюйм), отримуємо мінімальний розмір структурного елемента відеозображення близько 0,7 мм. Це добре узгоджується з тим фактом, що для даного природного каменю (дрібнозернисте габро) розмір зерен становить менше 1 мм.

Результати обчислення фрактальної розмірності дозволяють зробити висновки відносно фрактальних властивостей відеозображення, що містить вимірювальну інформацію, і визначити параметри фрактальних методів обробки і стиснення цих відеозображень:

1. Розподільча спроможність відеозображення повинна бути такою, щоб на 1 структурний елемент відеозображення приходилося не менше, ніж 5...7 дискретних точок.

2. В алгоритмі фрактального стиснення мінімальний розмір рангового блоку не повинен бути меншим за мінімальний розмір структурного елемента, що має фрактальні властивості. Інакше в процесі стиснення будуть виконуватися зайві обчислення і збільшиться час виконання стиснення. Це потребує врахування індивідуальних особливостей відеозображень, що стискаються.

3. Можливий і універсальний підхід до вибору мінімального розміру рангового блоку, враховуючи тільки інтегруючі властивості вимірювального каналу. В цьому випадку розмір рангового блоку повинен складати  $2 \times 2$  дискретні точки.

4. Вказані обмеження також потрібно враховувати і для інших процедур фрактальної обробки цифрових відеозображень, що містять вимірювальну інформацію (сегментація, виділення контурів об'єктів тощо).

Іншим цікавим застосуванням фрактальних методів аналізу відеозображень може бути контроль якості поверхні будівельних виробів з природного каменю в процесі механічної обробки їх поверхні.

Зовнішній вигляд поверхні будівельних виробів з природного каменю є однією з їх важливих характеристик [10]. Контроль і відбракування цих виробів виконується в процесі їх виготовлення з блоків природного каменю та в процесі механічної обробки їх поверхні. Такий контроль потребує визначення

ряду показників якості. Для будівельних виробів з природного каменю згідно з ДСТУ Б В.2.7-16-95 використовуються показники якості їх поверхні:

- вигляд лицьової поверхні (включаючи структуру, текстуру і фактуру цієї поверхні);
- колір лицьової поверхні;
- відхилення показників зовнішнього вигляду (наявність пузирів, плішин тощо).

Відомі способи контролю якості поверхні включають застосування експертних оцінок, а також вимірювальних приладів (блискоміри, колориметри тощо) для отримання чисельних оцінок якості [10, 17]. Однією із складових частин такого контролю є визначення здатності природного каменю до полірування на етапі оцінки якості сировини родовища та визначення якості фактури поверхні на етапі виробництва будівельних виробів.

Слід зауважити, що існуючі способи контролю якості поверхні потребують використання значного обсягу ручної праці і через це мають низку продуктивність. При використанні методу експертних оцінок також можлива наявність похибок, обумовлених суб'єктивними факторами. Тому досить перспективним способом контролю якості поверхні будівельних виробів з природного каменю є формування цифрових відеозображень їх поверхні, введення цих відеозображень в обчислювальне середовище цифрової ЕОМ з наступною цифровою обробкою відеозображень [18].

З метою оцінки якості фактурної обробки поверхні будівельних виробів з природного каменю при їх поетапній обробці пропонується використання фрактального аналізу відеозображень. Такий аналіз виконується шляхом обчислення фрактальної розмірності [8, 16] відеозображень обробленої поверхні цих виробів. Це дозволяє отримати об'єктивні чисельні характеристики якості поверхні, не користуючись спеціальним і часто важкодоступним обладнанням, еталонами тощо, а також підвищити продуктивність процедури контролю.

Розглянемо використання фрактального аналізу для оцінки якості поверхні виробів на прикладі природного каменю, видобутого з Букинського родовища габро і лабрадориту (Малинський район Житомирської області).

Після кожного етапу обробки поверхні за допомогою цифрового фотоапарата формувалося відеозображення цієї поверхні і обчислювалась фрактальна розмірність двовимірної функції яскравості в площині відеозображення, а також фрактальна розмірність контурів структурних елементів поверхні (рис. 5, табл. 1).

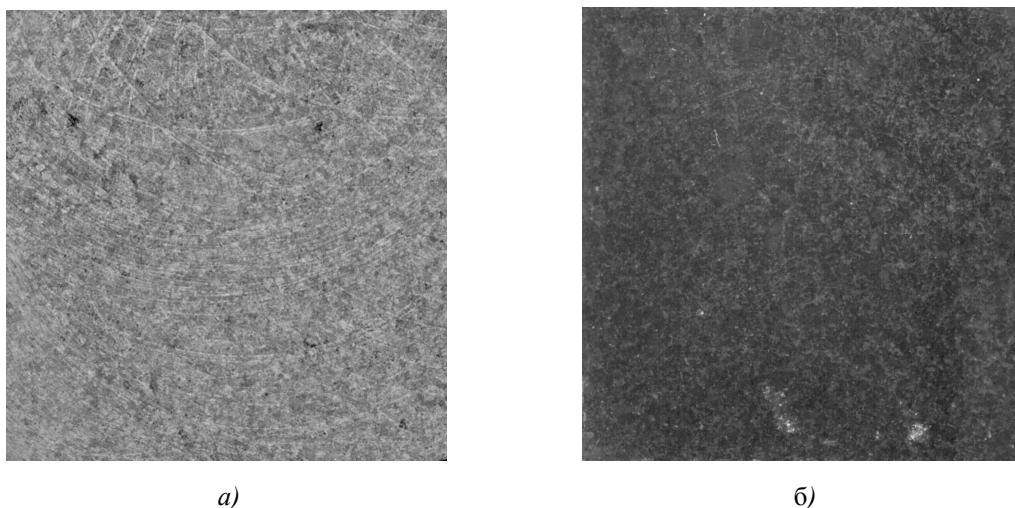


Рис. 5. Поверхня природного каменю після 1 та 6 етапів фактурної абразивної обробки Таблиця 1

Контроль технологічного процесу фактурної абразивної обробки виробів з природного каменя

Етап обробки	Найменування технологічної операції	Характеристика поверхні після механічної обробки	Фрактальна розмірність відеозображення	
			функція яскравості	контури структурних елементів поверхні
1	Грубе шліфування	Шорсткість до 0,5 мм	2,41	1,91

2	Шліфування	Відсутність слідів розпилу, шорсткість до 0,2 мм	2,38	1,84
3	Тонке шліфування	Шорсткість до 0,05 мм	2,35	1,79
4	Перше лощіння	Відсутність слідів обробки, гладка матова поверхня з повним виявом рисунку каменя	2,33	1,76
5	Друге лощіння	Відсутність слідів обробки, гладка матова поверхня з повним виявом рисунку каменя, повне видалення мікротріщинуватості	2,33	1,74
6	Полірування	Рівномірний дзеркальний блиск, чітке відображення навколишніх предметів	2,32	1,72

Як бачимо, фрактальна розмірність має чітко виражену залежність від якості фактурної обробки поверхні природного каменю і може бути використана в якості об'єктивного показника якості поверхні будівельних виробів.

Таким чином, одержані показники фрактальної розмірності відеозображень поверхні природного каменю дозволяють контролювати якість сировини з родовищ природного каменю (здатність каменю до полірування), а також контролювати якість поверхні будівельних виробів з природного каменю в процесі їх виготовлення. Ці показники можуть бути застосовані на таких етапах технологічного циклу:

- оцінка якості сировини родовищ природного каменю;
- розробка та впровадження технологічних операцій виготовлення будівельних виробів з природного каменю та фактурної обробки поверхні цих виробів;
- контроль якості при прийманні готової продукції з природного каменю.

**Висновки.** У статті розглянуто особливості застосування методів фрактального аналізу відеозображень до обробки та стиснення двовимірної вимірювальної інформації про механічні величини, представлені в формі цифрових відеозображень. Можливість і ефективність застосування цих методів впливає з наявності фрактальних властивостей у об'єктів, що містяться на відеозображеннях. Для оцінки цих властивостей необхідно визначити фрактальну розмірність відеозображень і об'єктів, що досліджуються.

Результати обчислення фрактальної розмірності дозволяють зробити висновки відносно фрактальних властивостей відеозображення, що містить вимірювальну інформацію, і надати рекомендації щодо параметрів фрактальних методів обробки і стиснення цих відеозображень, які забезпечують зменшення похибок вимірювальної інформації та часу її обробки.

Проведеними дослідженнями встановлено, що розмір відеозображення повинен бути не менший, ніж 512x512 дискретних точок. При такому підході можливо зменшити кількість операцій та час обчислення процедур фрактального стиснення та аналізу відеозображень, що містять вимірювальну інформацію, при заданій точності передачі та зберігання цієї інформації.

Напрямок подальших досліджень може бути встановлення залежностей і розробка математичних моделей для обчислення точнісних і часових характеристик процесу вимірювань механічних величин, який включає фрактальну обробку та стиснення цифрових відеозображень.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 792 с.
2. Катъс Г.П. Обработка визуальной информации. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
3. Шлихт Г.Ю. Цифровая обработка цветных изображений. – М.: ЭКОМ, 1997. – 336 с.
4. Бутаков Е.А., Островский В.И., Фадеев И.Л. Обработка изображений на ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1988. – 240 с.
5. Грузман И.С., Киричук В.С., Косых В.П., Перетягин Г.И. и др. Цифровая обработка изображений в информационных системах: Учебное пособие. – Новосибирск.: Издательство НГТУ, 2000. – 168 с.
6. Mann S. Intelligent Image Processing. – John Wiley & Sons, 2002. – 342 с.
7. Абрамэйко С.В., Лагуновский Д.М. Обработка изображений: технология, методы, применение. – Минск: Институт технической кибернетики НАН Беларуси, 1999. – 300 с.
8. Морозов А.Д. Введение в теорию фракталов. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 160 с.

9. Божокин С.В., Паришин Д.А. Фракталы и мультифракталы. – Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2001. – 128 с.
10. Добыча и обработка природного камня: Справочник / Под ред. А.Г. Смирнова. – М.: Недра, 1990. – 445 с.
11. Fractal Image Encoding and Analysis / Edited by Y. Fisher. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1998. – 368 p.
12. Уэлстид С. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии. – М.: Триумф, 2003. – 320 с.
13. Грушенко М.В., Пащенко Р.Э., Шаповалов А.В. Мониторинг морской поверхности с использованием метода “К-дерева” поля фрактальных размерностей // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2006. – № 1/2 (19). – С. 100–104.
14. Потапов А.А. Фракталы в дистанционном зондировании // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. – 2000. – № 6. – С. 3–65.
15. Марков Е.П. Фрактальная модель космических оптико-электронных изображений // Исследование Земли из космоса. – 1996. – № 1. – С. 56–61.
16. Федер Е. Фракталы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
17. Сычев Ю.И., Берлин Ю.Я. Шлифовально-полировальные и фрезерные работы по камню. – М.: Недра, 1985. – 280 с.
18. Патент України на винахід № 71412А, G 01 В 7/00. Спосіб контролю зовнішнього вигляду поверхні виробів з лицювального каменю / Є.С. Купкін, Ю.О. Подчашинський. – № 20031212802; Заявл. 29.12.2003; Опубл. 15.11.2004, Бюл. № 11.

ПОДЧАШИНСЬКИЙ Юрій Олександрович — кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та управління в технічних системах Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- методи вимірювання механічних величин;
- цифрова обробка відеозображень.

Подано 14.03.2006



Подчашинський Ю.О. Фрактальна обробка та стиснення двовимірної вимірювальної інформації про механічні величини

Подчашинский Ю.А. Фрактальная обработка и сжатие двумерной измерительной информации о механических величинах

Podchashinsky Yu.A. Fractal processing and compressing of two-dimensional measuring information about mechanical values

УДК 531.7:004.932

**Фрактальна обробка та стиснення двовимірної вимірювальної інформації про механічні величини / Ю.О. Подчашинський**

В статті розглянуто застосування методів фрактального аналізу відеозображень до обробки та стиснення двовимірної вимірювальної інформації про механічні величини. Досліджено фрактальні властивості цифрових відеозображень, що містять цю інформацію. Дано рекомендації по вибору параметрів процедур обробки та стиснення двовимірної вимірювальної інформації про механічні величини.

УДК 531.7:004.932

**Фрактальная обработка и сжатие двумерной измерительной информации о механических величинах**

В статье рассмотрено применение методов фрактального анализа видеоизображений для обработки и сжатия двумерной измерительной информации о механических величинах. Исследованы фрактальные свойства цифровых видеоизображений, содержащих эту информацию. Даны рекомендации по выбору параметров процедур обработки и сжатия двумерной измерительной информации о механических величинах.

УДК 531.7:004.932

**Fractal processing and compressing of two-dimensional measuring information about mechanical values / Yu.A. Podchashinsky**

In a paper the application of methods of the fractal analysis of videoimages for processing and compression of a two-dimensional measuring information about mechanical values is considered. The fractal properties of digital videoimages containing this information are investigated. The recommendations are given at the choice of parameters of procedures of processing and compression of a two-dimensional measuring information about mechanical values.