

Визначення фрактальної розмірності цифрових відеозображень об'єктів вимірювань

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

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 задачею 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.

Відомі ряд методів для виконання операцій по обробці та стисненню цифрових відеозображень [70, 219, 226, 227]. 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 і 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 з таких перспективних методів обробки є використання математичної теорії фракталів для обробки відеозображень [228, 229].

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 текстуру і структуру, і характеристики яких потрібно вимірювати і контролювати в процесі виробництва [43, 44, 222].

Існує ряд методів фрактальної обробки і стиснення цифрових відеозображень [145, 214], а також обробки вимірювальної і діагностичної інформації на таких відеозображеннях [230-232]. Однак більшість з них

орієнтована на пошук і розпізнавання об'єктів, що мають певну форму або текстуру. Питання вимірювання ГП, похибок вимірювань та стиснення виміральної інформації висвітлено недостатньо.

Метою проведених досліджень є застосування методів фрактального аналізу до цифрових відеозображень з виміральною інформацією про механічні величини, а також визначення характерних особливостей ОВ на основі розрахунку їх фрактальної розмірності.

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 [228, 233]. Визначення фрактальної розмірності включає поняття міри M_d , що характеризує відстань між точками деякої множини точок Ω та взаємне розташування цих точок в просторі. В 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 Ω . Ці умови визначаються з рівняння:

$$M_d = \gamma(d)N(\delta)\delta^d \xrightarrow{\delta \rightarrow 0} \begin{cases} 0 & \text{якщо } d > D, \\ \infty & \text{якщо } d < D, \end{cases} \quad (3.4)$$

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

Для розробки обчислювальних алгоритмів фрактальної розмірності використовують той факт, що при $\delta \rightarrow 0$ з формули (3.4) випливає залежність:

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

або в логарифмічній формі

$$\lg(N(\delta)) = aD \lg(\delta), \quad (3.5)$$

де a – коефіцієнт пропорційності.

Відповідно до формули (3.5) будують графік залежності $\lg(N(\delta))$ від $\lg(\delta)$ і по ньому визначають фрактальну розмірність D .

Для відеозображень, що містять виміральною інформацію фрактальна розмірність може 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. 3.10. 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.

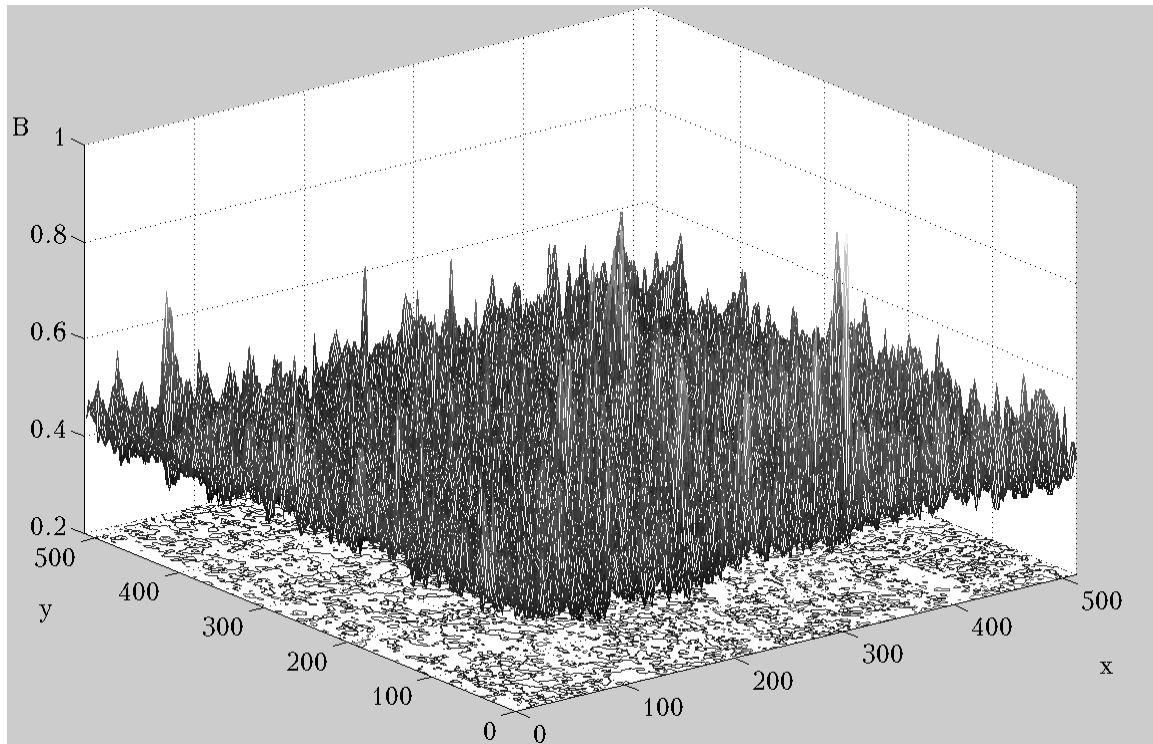


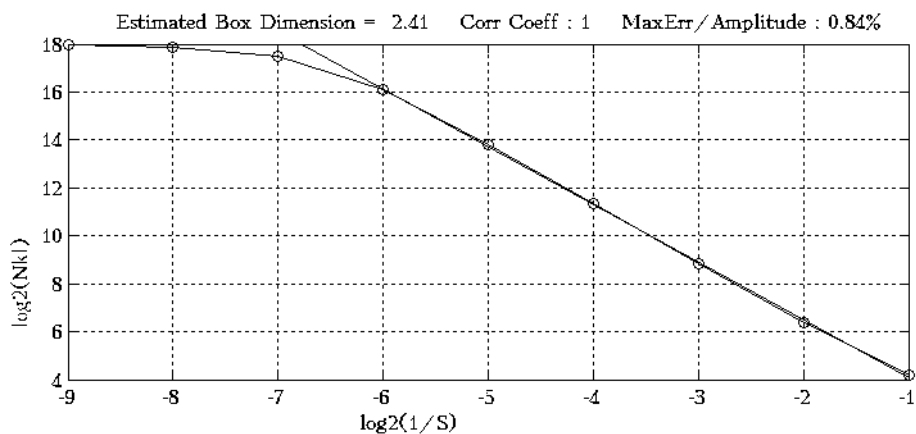
Рис. 3.10. Приклад функції яскравості для цифрового відеозображення поверхні природного каменю

Для таких відеозображень були побудовані графіки залежностей $\lg(N(\delta))$ від $\lg(\delta)$ (точки і крива на рис. 3.11) і по них визначалась фрактальна розмірність D функції яскравості шляхом лінійної апроксимації за методом найменших квадратів (прямі лінії на рис. 3.11). Також розглядався варіант обчислення фрактальної розмірності функції яскравості при меншому розмірі в дискретних точках цифрового відеозображення (рис. 3.12) та варіант обчислення фрактальної розмірності контурів структурних елементів цифрового відеозображення (рис. 3.13).

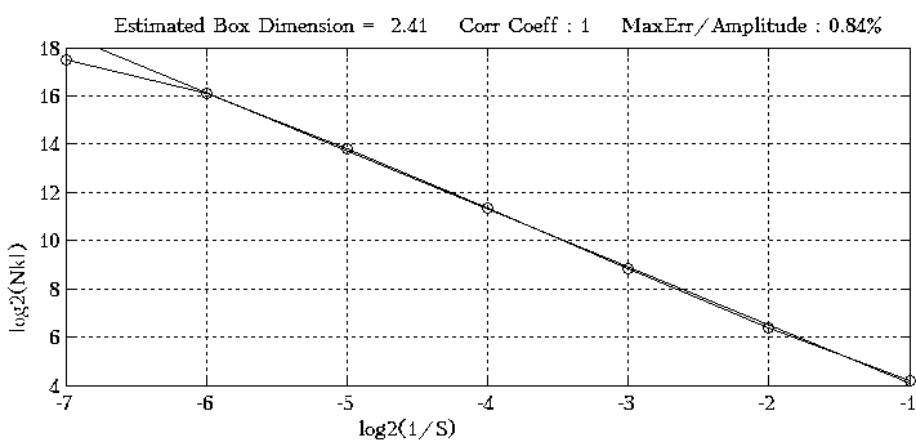
Аналіз цих результатів дозволяє відзначити певні особливості обчислення фрактальної розмірності і застосування фрактальних методів обробки і стиснення до цифрових відеозображень, що містять вимірювальну інформацію про механічні величини.

На фрактальні властивості об'єктів впливає дискретний характер відеозображення, так як 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 Ω , до нуля можна для безперервного зображення, а для цифрового відеозображення

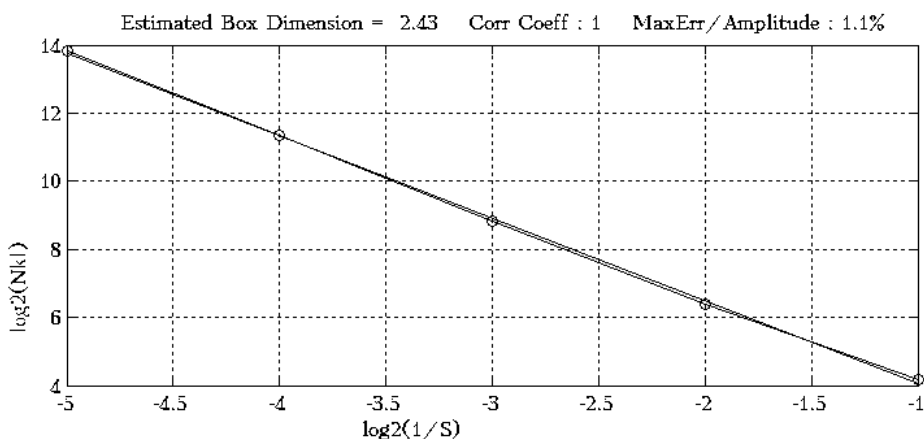
мінімальний розмір квадратів або кубів – це є розмір дискретної точки відеозображення.



а)



б)



в)

Рис. 3.11. 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))

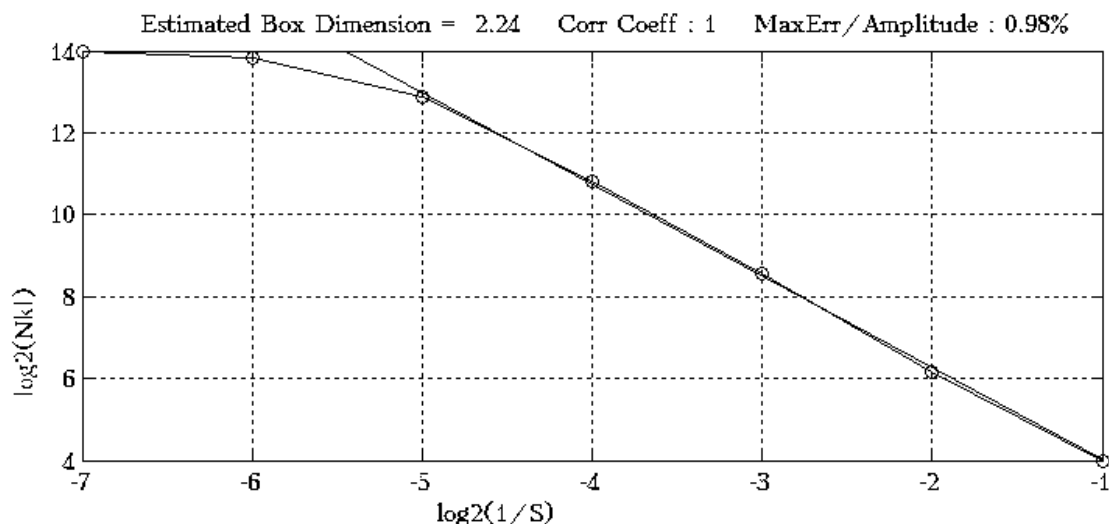


Рис. 3.12. Розрахунок фрактальної розмірності функції яскравості (розмір цифрового відеозображення 128×128 дискретних точок, мінімальний розмір блоку, що аналізується, 1×1 дискретних точок)

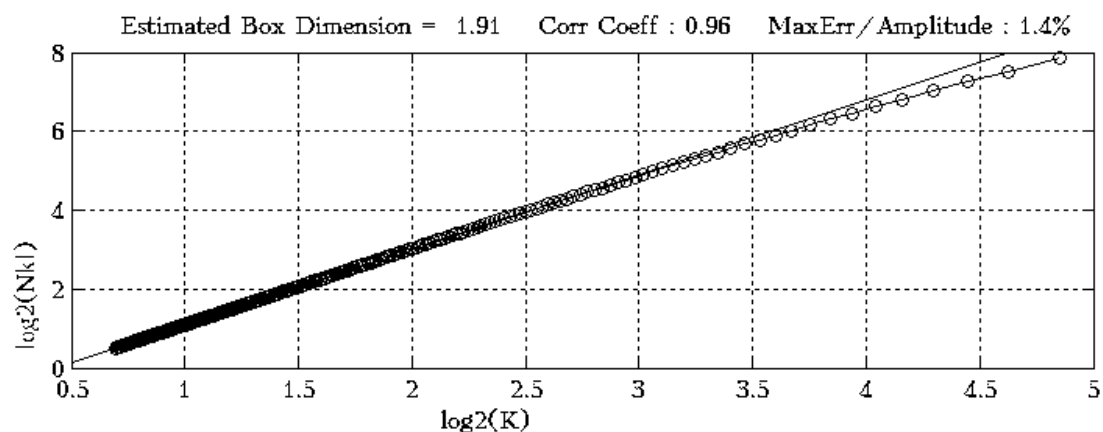


Рис. 3.13. Розрахунок фрактальної розмірності контурів структурних елементів цифрового відеозображення (розмір 512×512 дискретних точок)

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

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 Ω , далі за цей поріг не має сенсу.

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 блока квадродерева не повинен бути меншим мінімального розміру структурного елемента, що має фрактальні властивості, за умови правильного вибору розподільчої спроможності відеозображення.

Відповідно до рис. 3.11 мінімальний розмір блоків, що має фрактальні властивості, складає 8×8 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 2×2 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 [43, 44]. 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 використовуються показники якості їх поверхні:

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

Відомі способи контролю якості поверхні включають застосування експертних оцінок, а також вимірювальних приладів (блискоміри, колориметри тощо) для отримання чисельних оцінок якості [43, 44]. 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 [25].

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 [228, 233] 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 фотоапарату формувалось відеозображення цієї поверхні і обчислювалась фрактальна розмірність двовимірної функції яскравості в площині відеозображення, а також фрактальна розмірність контурів структурних елементів поверхні (рис. 3.14, табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Контроль технологічного процесу фактурної абразивної обробки
виробів з природного каменю

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 каменю	2,33	1,76
5	Друге лощіння	Відсутність слідів обробки, гладка матова поверхня з повним виявом рисунку каменю, повне видалення мікротріщинуватості	2,33	1,74
6	Полірування	Рівномірний дзеркальний блиск, чітке відображення оточуючих предметів	2,32	1,72

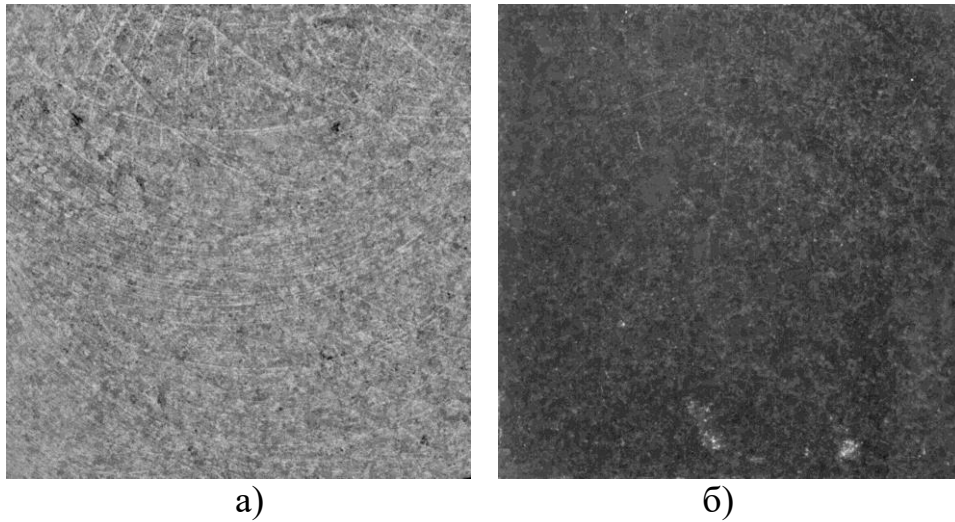


Рис. 3.14. Поверхня природного каменю після 1 та 6 етапів фактурної абразивної обробки

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.