

Ю.О. Подчашинський, д.т.н., проф.  
О.В. Хаустович, магістр

Житомирський державний технологічний університет

### Дослідження методів фрактального стиснення відеозображень з вимірювальною інформацією, що передаються комп'ютерними мережами

*Розглянуто застосування методів фрактального перетворення та стиснення відеозображень, що містять вимірювальну інформацію про різноманітні технічні об'єкти або промислові вироби. Такі відеозображення можуть передаватися по бездротовим сенсорним мережам або по інших комп'ютерних мережах в складі розподілених систем управління. Основною вимогою до відеозображень в даному випадку є забезпечення точності вимірювальної інформації про геометричні параметри об'єктів та високої ступеня стиснення для підвищення швидкодії систем управління. Встановлено, що фрактальний метод стиснення забезпечує значно більшу компактність відеозображень (зменшення об'єму до декількох сотень разів) при прийнятних показниках точності геометричних параметрів на відміну від існуючих методів, що забезпечують зменшення об'єму в 30...50 разів при такій же точності.*

**Ключові слова:** відеозображення; геометричні параметри; фрактальне перетворення; стиснення відеозображень.

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її актуальність.** Цифрові відеозображення містять велику кількість інформації про об'єкти, що присутні на відеозображеннях. Шляхом комп'ютеризованої обробки відеозображень можна отримати цю інформацію і, таким чином, виконати вимірювання геометричних параметрів, параметрів руху та показників кольору наявних на відеозображеннях об'єктів. Сучасні технології контролю та управління різноманітними технічними об'єктами використовують комп'ютерні мережі для передачі вимірювальної інформації про об'єкти контролю. В тому числі це можуть розподілені системи управління та бездротові сенсорні мережі, що використовують відеозображення. Використання відеозображень в комп'ютерних мережах відіграє на сьогодні неабияку роль, щодня по комп'ютерних мережах передається велика кількість відеозображень, які мають початково значний об'єм цифрових даних. Для підвищення швидкодії технічних систем та мереж необхідно зменшувати цей об'єм даних шляхом стиснення відеозображень. Після стиснення для передачі по комп'ютерній мережі відеозображень може стати не зрозумілим для кінцевого користувача внаслідок втрати частини вимірювальної інформації. Тому виникає необхідність не тільки швидко передати відеозображення, але й зберегти його початкову якість та зменшити похибки вимірювальної відеоінформації.

Сучасним методом комп'ютеризованої обробки відеозображень є їх кодування та стиснення на основі теорії фракталів [1–3]. Основною задачею, що вирішується в даному випадку на основі фрактальних методів, є підвищення точності і компактності цифрових відеозображень при їх зберіганні в цифровій ЕОМ та при передачі по комп'ютерних мережах. Перевагою фрактальних методів є менші похибки та значне зменшення об'єму цифрових даних відеозображень у порівнянні з існуючими методами [4, 5].

Фрактальне кодування використовує властивість самоподібності елементів та об'єктів відеозображення. Це забезпечує великі коефіцієнти стиснення, але потребує суттєвого розвитку методик кодування з одночасним врахуванням багатьох критеріїв (зокрема, швидкості роботи, ступеня стиснення, якості та похибок відеозображень, відновлених після стиснення). В результаті, фрактальне стиснення можна розглядати в якості реальної альтернативи методу стиснення JPEG для багатьох класів зображень, що використовуються в науково-технічній і повсякденній сферах життєдіяльності людини.

**Аналіз існуючих досліджень і публікацій.** Фрактальний метод є ефективним методом стиснення відеозображень, створеним Майклом Барнслі у 1988 році. Він відкрив клас теорем, що дозволили ефективно стискати відеозображення. Барнслі назвав метод «фрактальним перетворенням» (Fractal Transform). При цьому кодується по суті не саме відеозображення, а алгоритм його побудови з само подібних елементів [6, 7]. Даний метод спочатку не здобув широкого використання через патентний захист та через значну обчислювальну складність процедури фрактального кодування.

Проблема оптимізації фрактального стиснення цифрових відеозображень присвячена велика кількість досліджень зарубіжних учених [8–11]. Наприклад, фрактальний метод був суттєво покращений С.В. Винокуровим, який розглянув алгоритм фрактального стиснення відеозображень з використанням просторово-чутливого хешування [11]. Фрактальний метод стиснення на теперішній час інтенсивно досліджується саме для задачі стиснення відеозображень. Однак мало уваги приділяється двом важливим моментам: оптимізації фрактального стиснення, що дозволить мати однак високі характеристики ступеня

стиснення і якості відновленого відеозображення при його передачі по комп'ютерним мережам; оцінці похибок вимірювальної інформації на відеозображеннях, що стискаються фрактальними методами.

**Метою проведення досліджень** є дослідження методів фрактального стиснення відеозображень з вимірювальною інформацією, що передаються комп'ютерними мережами, та оцінка похибок вимірювальної інформації про геометричні параметри об'єктів на відновлених відеозображеннях.

**Викладення основного матеріалу досліджень.** Основа методу фрактального кодування – це виявлення самоподібних ділянок у зображенні [4]. Фрактальне кодування використовує систему доменних і рангових блоків відеозображення, тобто множину блоків прямокутної форми, що в сумі покривають все відеозображення. Цей підхід став основою для більшості методів фрактального кодування, що застосовуються сьогодні. Відповідно до даного методу відеозображення розбивається на множину неперекритих рангових підзображень і визначається множина неперекритих доменних підзображень. Для кожного рангового блоку алгоритм кодування знаходить найбільш подібний доменний блок і афінне геометричне перетворення, що переводить цей доменний блок у даний ранговий блок. Структура відеозображення відображається в систему рангових блоків, доменних блоків і афінних геометричних перетворень.

Основна складність фрактального стиснення полягає в тому, що для знаходження відповідних доменних блоків потрібен повний перебір великої кількості елементів множини [4, 7, 10, 12]. Оскільки при цьому переборі щораз повинні порівнятися два масиви цифрових даних, то дана операція є складною у обчислювальному плані та досить тривалою. Порівняно простим перетворенням її можна звести до операції скалярного добутку двох масивів, однак ця операція також тривала.

Фрактальне стиснення відеозображень [10, 12] починається з того, що беруться два ідентичні екземпляри цього відеозображення – А і Б, один з них розділяється на блоки, що не перекриваються (рангові блоки), а на другому задається набір доменів, які можуть взаємно перекриватися.

Домени повинні включати характерні фрагменти, які надалі використовуються для побудови декодованого відеозображення. Після цього починається кодування зображення шляхом підбору для кожної рангової блоку найбільш відповідного домену, за допомогою якого просторовий розподіл яскравості в ранговому блоці може бути апроксимований розподілом яскравості в домені. Для того, щоб отримати найкращу апроксимацію, домени піддаються афінним перетворенням, в результаті яких відбувається не лише геометрична деформація, але й зміни їх контрастності та яскравості. На практиці застосовується вісім варіантів відображення одного блоку в інший з використанням афінних геометричних перетворень. Це повороти відеозображення на кути 0, 90, 180, 270 градусів відносно його центра і перетворення симетрії відносно ортогональних осей, які проходять через центр блоку перпендикулярно його сторонам.

Якщо просторовим розподілом яскравості в перетвореному домені не вдається досягти задовільної апроксимації розподілу яскравості в ранговому блоці, то ранговий блок ділиться на чотири частини і процес повторюється. Якість необхідної апроксимації задається допустимим значенням середнього квадрата похибки апроксимації.

Номери доменів, використаних при кодуванні кожного рангового блоку, а також чисельні коефіцієнти афінних геометричних перетворень стискаються шляхом статистичного кодування ентропії і записуються у файл з стиснутим відеозображенням. Цей файл містить заголовок з інформацією про розташування рангових блоків і доменів, а також таблицю ефективно упакованих афінних коефіцієнтів для кожного рангового блоку.

Точність апроксимації  $F$  визначається за допомогою середньоквадратичного критерію [12]:

$$F = \sum_{i,j} (d_{ij} + O_{ij} - r_{ij})^2$$

де  $d_{ij}$  – значення, отримані в результаті усереднення по фрагментах з розмірами  $2 \times 2$  елементів доменного блоку, що приводить його розмір до розміру рангового блоку;  $r_{ij}$  – значення елементів рангового блоку;  $O_{ij}$  – зміщення, яке може бути як константою, так і описуватись поліномами першого, другого або третього порядків.

Декодування полягає в тому, що беруться два екземпляри одного і того ж довільного відеозображення А і Б, просторовий розподіл яскравості в яких неважливий. На цих відеозображеннях виділяються області, межі яких співпадають з межами рангових блоків і доменів, а потім, використовуючи відомі значення афінних коефіцієнтів для доменів, виділених на відеозображенні Б, знаходяться просторові розподіли яскравості в рангових блоках відеозображення А. Після цього відеозображення А і Б міняються місцями і операція повторюється. При багатократному повторенні цієї операції просторовий розподіл яскравості на відеозображеннях А і Б наближатиметься до розподілу яскравості на початковому відеозображенні до стиснення.

Звернемо увагу на те, що алгоритми стиснення і відновлення асиметричні. Процес стиснення вимагає набагато більше часу, ніж процес відновлення. Відновлення стисненого відеозображення носить ітераційний характер. Контрастність відновленого зображення може бути визначена окремо іншими

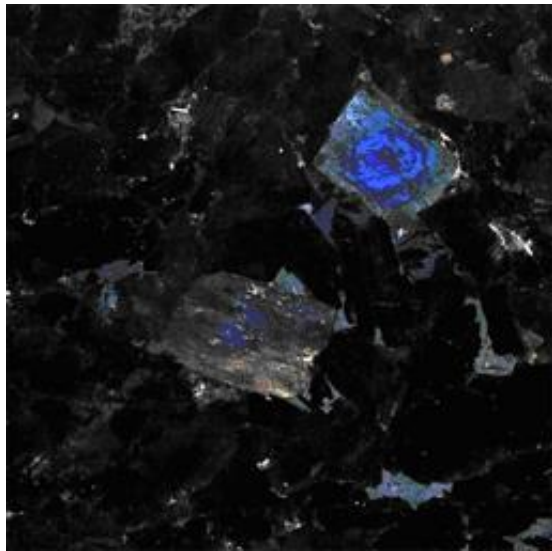


Для отримання початкового відеозображення  $f_0$  необхідно виконати нескінчену кількість ітерацій. За скінчену кількість ітерацій  $N_{\infty}$  отримуємо оцінку початкового відеозображення  $\hat{f}_0$  з похибкою  $\Delta_{\infty}(N_{\infty})$ .

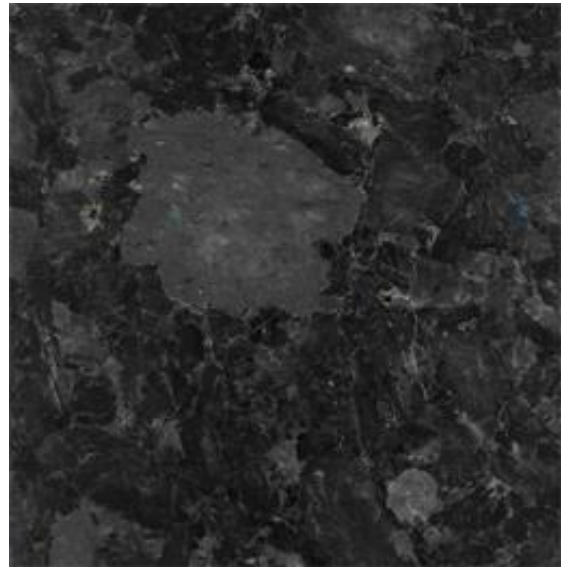
Шляхом вибору параметрів фрактального перетворення та кількості ітерацій можна суттєво зменшити похибки геометричних параметрів на відеозображеннях за умови  $\Delta_{\infty}(N_{\infty}) < \Delta_{f_0}$ . В цьому випадку фрактальне перетворення забезпечує компактне зберігання відеозображень з можливістю високоточного вимірювання геометричних параметрів об'єктів вимірювань.

Для експериментального дослідження фрактального методу стиснення використовувалися відеозображення зразків природного облицювального каменю (рис. 2). Зовнішній вигляд і якість поверхні таких зразків визначають декоративні та естетичні властивості природного облицювального каменю. Для кількісної оцінки якості поверхні таких зразків необхідно визначити геометричні параметри і колір структурних елементів цієї поверхні [15].

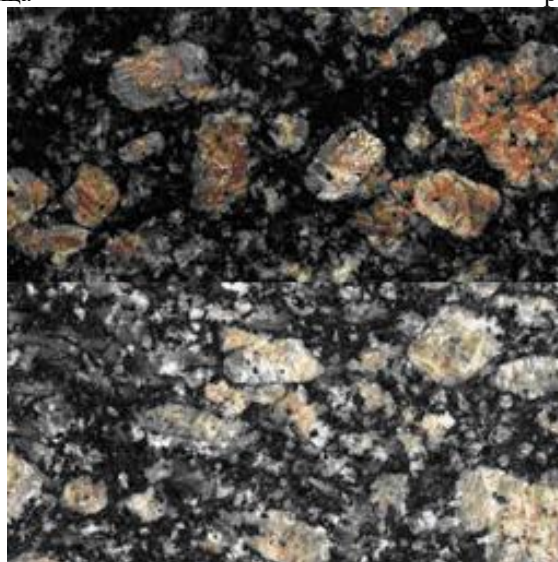
Результати досліджень наведено на рисунку 3.



а) відеозображення лабрадориту Головинського родовища



б) відеозображення лабрадориту Федорівського родовища



в) відеозображення граніту Корнинського родовища

Рис. 2. Відеозображення поверхні виробів з природного каменю, що використовувалися для дослідження фрактального перетворення

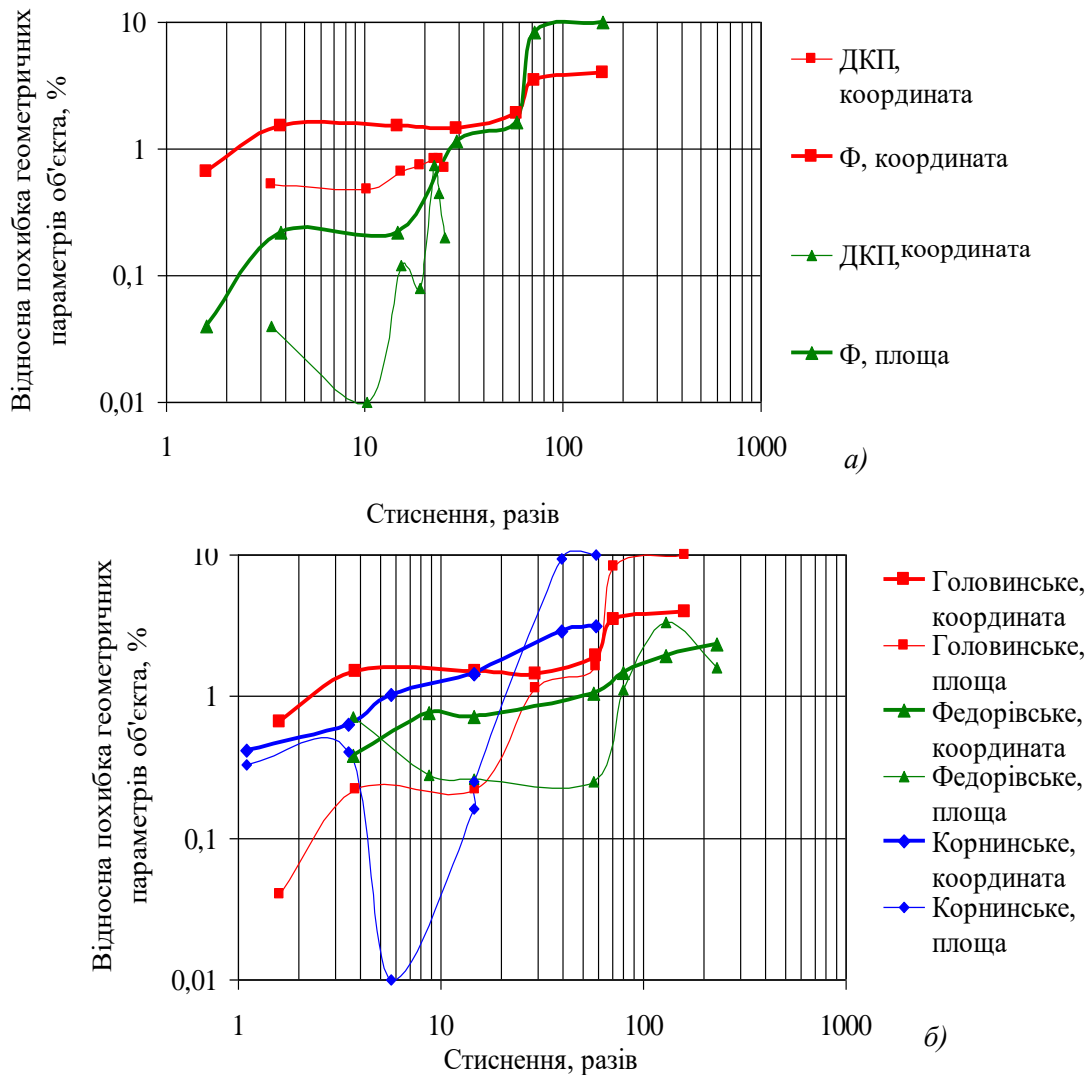


Рис. 3. Похибки геометричних параметрів структурних елементів поверхні виробів з природного каменю на відеозображеннях після фрактального стиснення: а) – лабрадорит Головинського родовища; б) лабрадорит Головинського та Федорівського родовищ, граніт Корнинського родовища; ДКП – стиснення на основі дискретного косинусного перетворення за методом JPEG,  $\Phi$  – фрактальне стиснення

В ході цих досліджень за допомогою цифрової камери Sony Cyber-Shot DSC-H9 формувалися цифрові кольорові відеозображення природного облицювального каменю з такими характеристиками: розмір 2048x1536 д.т., глибина кольору 24 біти на д.т. Безпосередньо для дослідження методів стиснення виділявся фрагмент розміром 256x256 д.т. Для зменшення об'єму використовувався фрактальний метод стиснення та відомий JPEG метод [5] на основі дискретного косинусного перетворення.

**Висновки:** Дослідження методів фрактального стиснення відеозображень, удосконалення та оптимізація їх алгоритмів дає змогу забезпечити більшу ступінь стиснення та швидкість передачі цифрових даних відеозображень при мінімальних втратах вимірювальної відеоінформації.

Основною перевагою фрактального методу є досягнення значно більшої компактності вимірювальної інформації (зменшення об'єму відеозображень в декілька сотень разів) при прийнятних показниках точності геометричних параметрів (похибка визначення координат контуру 0,3 мм) на відміну від існуючих методів, що забезпечують зменшення об'єму в 30...50 разів при такій же точності.

Відносна похибка ГП структурних елементів поверхні природного каменю складає (1...5)% і є прийнятною в процедурах оцінки його декоративних властивостей [16, 17]. Тому фрактальний метод може застосовано:

- для компактного зберігання відеозображень зразків і промислових виробів з природного каменю;
- для передачі цих зображень по комп'ютерним мережам в складі розподілених систем керування;
- для побудови різноманітних баз даних і каталогів в мережі Internet.

## Список використаної літератури:

1. Fractal Image Encoding and Analysis / edited by Y.Fisher. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1998. – 368 p.
2. Федер Е. Фракталы / Е.Федер ; пер. с англ. – М. : Мир, 1991. – 254 с.
3. Batchelor B.G. Intelligent Vision Systems for Industry / B.G. Batchelor, P.F. Whelan. – Springer, 2002. – 473 p.
4. Уэлстид С. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии / С.Уэлстид. – М. : Триумф, 2003. – 320 с.
5. Мюррей Д. Энциклопедия форматов графических файлов / Д.Мюррей, У.Ван Райнер ; пер. с англ. – К. : BHV, 1997. – 672 с.
6. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Д.Ватолин, А.Ратушняк, М.Смирнов, В.Юкин. – М. : Диа-лог-МИФИ, 2002. – 384 с.
7. Барнсли М. Фрактальное сжатие изображений / М.Барнсли, Л.Ансон // Мир ПК. - 1992. - № 10. - С. 52–58.
8. Ватолин Д.С. Использование ДКП для ускорения фрактального сжатия изображений / Д.С. Ватолин // Программирование. - 1999. - № 3. – С. 51–57.
9. Карпов П.М. Быстрый фрактальный алгоритм сжатия изображений / П.М. Карпов / Научная сессия МИФИ, 2006. – Т. 15.
10. Шабаршин А.А. Метод фрактального сжатия изображений / А.А. Шабаршин // Научные школы УПИ-УГТУ 1997. – № 1. – С. 70–82.
11. Винокуров С.В. Эффективный алгоритм фрактального сжатия изображений с использованием пространственно-чувствительного хеширования / С.В. Винокуров // Открытое образование. – 2006. – Т. 4, № 57. – С. 62–70.
12. Зубко Р.А. Стиснення зображень фрактальним методом / Р.А. Зубко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 6/2 (71). – С. 23–28.
13. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы / Б.Мандельброт. – М. : Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
14. Индутный В.В. Планиметрический анализ структур минеральных агрегатов / В.В. Индутный. – К. : Наукова думка. – 1991. – 180 с.
15. Застосування інформаційно-комп'ютерних технологій обробки відеоінформації в гірничо-геологічній галузі / А.О. Криворучко, Є.С. Купкін, Ю.О. Подчашинський, О.О. Ремезова // Вісник ЖДТУ. Серія : Технічні науки. – 2005. – № 1 (32). – С. 107–116.
16. Бакка М.Т. Добыча природного камня. Ч. 1 : Геолого-промышленная и технологическая оценка месторождений природного камня : учеб. пособие / М.Т. Бакка, А.Х. Кузьменко, Л.С. Сачков. – К. : УМК ВО, 1993. – 368 с.
17. Карасев Ю.Г. Природный камень. Добыча блочного и стенового камня / Ю.Г. Карасев, Н.Т. Бакка. – СПб. : Изд-во Санкт-Петербургского горного университетата, 1997. – 412 с.

## References:

1. Fisher, Y. (Ed.) (1998), *Fractal Image Encoding and Analysis*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 368 p.
2. Feder, E. (1991), *Fraktaly*, Translated from English, Mir, Moskva, 254 p.
3. Batchelor, B.G. and Whelan, P.F. (2002), *Intelligent Vision Systems for Industry*, Springer, 473 p.
4. Ujelstid, S. (2003), *Fraktaly i vejvlety dlja szhatija izobrazhenij v dejstvii*, Triumf, Moskva, 320 p.
5. Mjurrej, D. and Van Rajper, U. (1997), *Jenciklopedija formatov graficheskikh fajlov*, Translated from English, BHV, Kiev, 672 p.
6. Vatoлин, D., Ratushnyak, A., Smirnov, M. and Jukin, V. (2002), *Metody szhatija dannyh. Ustrojstvo arhivatorov, szhatie izobrazhenij i video*, Dia-log-MIFI, Moskva, 384 p.
7. Barnsli, M. and Anson, L. (1992), «Fraktal'noe szhatie zobrazhenij», Mir PK, No. 10, pp. 52–58.
8. Vatoлин, D.S. (1999), «Ispol'zovanie DKP dlja uskoreniya fraktal'nogo szhatija zobrazhenij», *Programirovanie*, No. 3, pp. 51–57.
9. Karpov, P.M. (2006), «Bystryj fraktal'nyj algoritm szhatija izobrazhenij», *Nauchnaja sessija MIFI*, Vol. 15.
10. Shabarshin, A.A. (1997), «Metod fraktal'nogo szhatija izobrazhenij», *Nauchnye shkoly UPI-UGTU*, No. 1, pp. 70–82.
11. Vinokurov, S.V. (2006), «Jeffektivnyj algoritm fraktal'nogo szhatija izobrazhenij s ispol'zovaniem prostranstvenno-chuvstvitel'nogo heshirovaniya», *Otkrytoe obrazovanie*, Vol. 4, No. 57, pp. 62–70.
12. Zubko, R.A. (2014), «Stysnennja zobrazhen' fraktal'nym metodom», *Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij*, No. 6/2 (71), pp. 23–28.
13. Mandel'brot, B. (2002), *Fraktal'naja geometrija prirody*, Institut komp'juternyh issledovanij, Moskva, 656 p.
14. Indutnyj, V.V. (1991), *Planimetricheskij analiz struktur mineral'nyh agregatov*, Naukova dumka, Kiev, 180 p.
15. Kryvoruchko, A.O., Kupkin, Je.S., Podchashyn's'kyj, Ju.O. and Remezova, O.O. (2005), «Zastosuvannja informacijno-komp'juternyh tehnologij obrobky videoinformacii' v girnycho-geologichnij galuzi», *Visnyk ZhDTU*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 1 (32), pp. 107–116.
16. Bakka, M.T., Kuz'menko, A.H. and Sachkov, L.S. (1993), *Dobycha prirodnogo kamnja*, in parts, Part 1 «Geologo-promyshlennaja i tehnologicheskaja ocenka mestorozhdenij prirodnogo kamnja», UMK VO, Kiev, 368 p.
17. Karasev, Ju.G. and Bakka, N.T. (1997), *Prirodnyj kamen'. Dobycha blochnogo i stenovogo kamnja*, Izd-vo Sankt-Peterburgskogo gornogo universitetata, Sankt-Peterburg, 412 p.

**Подчашинський** Юрій Олександрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри метрології та інформаційно-виміральної техніки Житомирського державного технологічного університету

Наукові інтереси:

- методи вимірювання механічних величин;
- цифрова обробка відеозображень;
- комп'ютеризовані системи управління.

**Хаустович** Олександр Вікторович – магістрант групи АТ-21-2м Житомирського державного технологічного університету

Наукові інтереси:

- цифрова обробка зображень;
- комп'ютеризовані системи управління.

Стаття надійшла до редакції 10.04.2018.