

DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2022-2\(90\)-161-169](https://doi.org/10.26642/ten-2022-2(90)-161-169)  
УДК 621.317

**Ю.О. Подчашинський, д.т.н., проф.  
В.А. Кирилович, д.т.н., доц.  
О.О. Лугових, ст. викладач**

*Державний університет «Житомирська політехніка»*

## **Застосування автоматизованих та інформаційних систем з цифровими зображеннями при відкритій розробці родовищ природного каменю**

*У статті розглядаються можливості застосування автоматизованих та інформаційних систем з цифровими зображеннями для розв'язання практичних задач, що пов'язані з видобуванням та обробкою природного каменю. Комп'ютеризована обробка та аналіз зображень поверхонь природного каменю та промислових виробів з нього дозволяє вимірювати характеристики кольорової текстури цих поверхонь, а також геометричні розміри та кути виробів по зовнішньому контуру. Отримані результати будуть корисними для визначення механічних характеристик природного каменю на ділянках родовищ, що розробляються чи плануються до розробки, для дослідження фізико-механічних характеристик гірських порід, що обумовлені їх кристалічною будовою, для контролю якості лицьової поверхні і геометричних розмірів промислових виробів з природного каменю. Наведено приклад експериментальних досліджень та оцінки складу й будови зразків габроїдної породи. Наведено й систематизовано основні напрями використання автоматизованих та інформаційних систем з цифровими зображеннями для отримання вимірювальної інформації про характеристики зразків та виробів з природного каменю в гірничо-геологічній галузі. Це дозволяє підвищити ефективність гірничих робіт з відкритої розробки родовищ природного каменю, точність визначення характеристик зразків та виробів, підвищити якість та конкурентоспроможність промислової продукції підприємств з видобування й обробки блочного природного каменю.*

**Ключові слова:** природний камінь; відкрита розробка родовищ; текстура та структура зразків природного каменю; зображення з вимірювальною інформацією; автоматизована система; інформаційна система.

**Актуальність теми.** Людина почала використовувати природний камінь як будівельний матеріал, зброю та засіб праці ще з самого початку розвитку цивілізації. Це було пов'язано з тим, що більшість різновидів природного каменю відрізняється значною міцністю і довговічністю. При відкритій розробці родовищ природного каменю важливими питаннями є: оцінка визначення механічних характеристик природного каменю на ділянках родовищ, що розробляються чи плануються до розробки; дослідження фізико-механічних характеристик гірських порід родовища, що обумовлені їх кристалічною будовою; контроль якості лицьової поверхні і геометричних розмірів промислових виробів з природного каменю [1–3]. Традиційні методи проведення досліджень зразків природного каменю та контролю промислових виробів для вирішення вказаних питань значною мірою ґрунтуються на ручній праці [2, 4–6].

Тому застосування автоматизованих та інформаційних систем з цифровими зображеннями [7–9] дозволяє підвищити ефективність проведення досліджень зразків гірських порід та контролю якості промислових виробів з природного каменю. Обробка та аналіз цифрових зображень надає вимірювальну інформацію про колір, структуру та фізико-механічні властивості природного каменю, отримання якої традиційними методами потребує значно більшого часу та витрат праці дослідників.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори.** Розвиток інформаційно-комп'ютерних технологій надає нові можливості для роботи з цифровими зображеннями [10]. Такі зображення можуть містити вимірювальну інформацію про колір, текстуру та структуру, геометричні характеристики поверхні зразків та промислових виробів з природного каменю. Це дозволяє застосовувати програмно-алгоритмічні методи та технічні засоби цифрової обробки зображень для розв'язання задач при відкритій розробці родовищ природного каменю [9, 11]. Практичне використання автоматизованих та інформаційних систем з цифровими зображеннями дає можливість ефективно вирішувати багато актуальних питань геологічної науки та практики, які наведено в [1–6, 12]. Комп'ютеризована обробка сигналів вимірювальної інформації розглянута у [7, 13]. Цифрова обробка зображень розглянута у роботах Г.Ю. Шліхт [14], Р.Гонсалес та Р.Вудс [10].

**Метою статті** є виявлення та систематизація основних напрямів впровадження автоматизованих та інформаційних систем з цифровими зображеннями в гірничо-геологічну галузь. Насамперед це проведення досліджень зразків гірських порід та контролю якості промислових виробів з природного каменю.

**Викладення основного матеріалу.** Об'єктом досліджень є промислові вироби з природного каменю, що контролюються, або зразки гірської породи, що досліджуються. Отримання корисної інформації про об'єкт досліджень здійснюється шляхом формування цифрового зображення поверхні цього об'єкта. Далі на зображенні вимірюються показники кольору та геометричні характеристики структурних елементів поверхні об'єкта, геометричні характеристики об'єкта в цілому.

Проведення вимірювань геометричних характеристик структурних елементів поверхні зразків, лінійних розмірів та кутів по зовнішньому контуру промислових виробів базується на розподілі (сегментації) цифрового зображення на області, що належать цим структурним елементам та виробу в цілому. Сегментація здійснюється на основі встановлення розбіжностей яскравості та кольору дискретних точок цифрового зображення. Геометричні вимірювання включають визначення лінійних розмірів структурних елементів поверхні та виробів в цілому, їх площі та показників геометричної форми, оцінку змін цих розмірів у процесі деформації та руйнування об'єкта [7, 8, 10].

Проведення вимірювань показників кольору структурних елементів поверхні здійснюється за однією зі стандартних кольорових схем [10, 14]. Вимірювання проводяться для дискретних точок цифрового зображення, що далі об'єднуються в структурні елементи поверхні зразків чи промислових виробів, для областей, що виділені дослідником на поверхні зразка, для промислового виробу з природного каменю в цілому.

Отримані результати вимірювань показників кольору характеризують кристалічну будову зразків природного каменю, а також надають можливість виявити дефекти та оцінити якість поверхні промислових виробів з природного каменю. У сукупності всі ці результати вимірювань підлягають аналізу з точки зору розв'язання практичних задач відкритої розробки родовищ природного каменю [1–3].

При проведенні досліджень поверхні зразків та промислових виробів з природного каменю використовуються такі підходи до формування, обробки та аналізу зображень з вимірювальною інформацією:

1. Технічні засоби автоматизованих та інформаційних систем не розробляються, а обираються з наявного переліку стандартних засобів роботи з цифровими зображеннями таким чином, щоб задовольнити вимоги задач з дослідження родовищ природного каменю. Такий підхід скорочує час та спрощує процес розробки й впровадження автоматизованих та інформаційних систем [11, 15];

2. Потрібні функціональні можливості, показники точності та швидкодії вимірювального каналу автоматизованої системи забезпечуються на основі програмно-алгоритмічної обробки зображень з вимірювальною інформацією про колір та геометричні параметри зразків і промислових виробів з природного каменю;

3. Алгоритми та програми обробки й аналізу зображень з вимірювальною інформацією налаштовуються відповідно до особливостей прикладних задач, що пов'язані з видобуванням та обробкою природного каменю [1–3];

4. Цифрові зображення з вимірювальною інформацією перетворюються та стискаються з метою зменшення наявного обсягу цифрових даних. Це забезпечує їх введення в комп'ютер або інший обчислювальний пристрій у реальному часі, а також компактне зберігання у базах даних інформаційних систем [8, 10, 14].

Процес вимірювань та обробки отриманих результатів забезпечується роботою апаратних засобів (пристрій формування цифрових зображень та обчислювальний пристрій) і програмного забезпечення (універсальні та спеціалізовані програми), в якому реалізовано потрібні алгоритми цифрової обробки зображень. Результати детального дослідження можливостей цих засобів для розв'язання задач, що пов'язані з видобуванням та обробкою природного каменю, наведено в [11].

Розробка програмно-алгоритмічного забезпечення автоматизованої системи базується на використанні та удосконаленні наявних методів обробки та аналізу цифрових зображень [7, 8]. Для вибору та налагодження потрібних методів цифрової обробки вимірювальної відеоінформації може бути застосований програмний пакет Matlab та його бібліотека програм для роботи із зображеннями Image Processing Toolbox [16].

Для впровадження автоматизованої системи у виробництво далі потрібно на основі обраних методів та алгоритмів розробляти спеціалізовані програми, наприклад, програму, представлену у [17].

Вимірювання геометричних величин розглянемо на прикладі виявлення різноманітних включень, в тому числі рудних, в гірських породах і розробки методики автоматизованої оцінки вмісту включень в різновидах порід такого природного каменю, як габро. Вказана задача є важливою для визначення можливого використання природного каменю з родовищ, що розробляються відкритим способом [1–3]. Першим варіантом є видобування рудного мінералу з родовища з його високою концентрацією. Другим варіантом є видобування з родовища блочного природного каменю для виготовлення промислових виробів з нього. В другому варіанті рудні компоненти є небажаною домішкою, що зменшують стійкість будівельних виробів з природного каменю до атмосферних впливів [18].

Засоби визначення рудних включень, що використовуються на теперішній час, не завжди ефективні і є досить трудомісткими [4–6]. Тому застосування автоматизованих та інформаційних систем з цифровими зображеннями забезпечить: аналіз структури зразків природного каменю з родовищ, що розробляються відкритим способом; надання обґрунтованої оцінки щодо придатності конкретного різновиду природного каменю для облицювання будівель в тій чи іншій місцевості; надання обґрунтованої оцінки відносно можливості використання каменю як рудної сировини.

З метою оцінки кількості рудних мінералів і вивчення структури гірської породи були відібрані зразки різновидів габро з різним вмістом рудних мінералів (ільменіту, титаномагнетиту) з Федорівського титанового родовища.

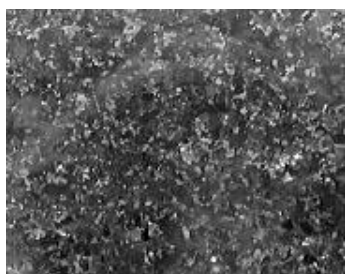
В автоматизованій системі реалізовану таку послідовність формування, обробки та аналізу цифрових зображень з вимірювальною інформацією про властивості зразків природного каменю: відбір зразків природного каменю з родовища, що мають оброблену лицьову поверхню; формування та введення в комп'ютер цифрових зображень лицьової поверхні зразків (рис. 1); програмно-алгоритмічна обробка введених зображень, що забезпечує їх сегментацію, виділення областей рудних мінералів, визначення геометричних характеристик цих областей (рис. 2); аналіз та візуалізація результатів вимірювань геометричних характеристик (рис. 3); оцінка результатів вимірювань геометричних характеристик з точки планування процесів відкритої розробки родовища природного каменю.

Вимірюванню підлягали такі геометричні характеристики виявлених областей рудних мінералів: лінійні розміри областей по горизонталі та вертикалі, площа областей на поверхні зразків, показники геометричної форми, що обчислюються шляхом апроксимації кожної з областей еліпсом, який має еквівалентну до цієї області площу та осі інерції.

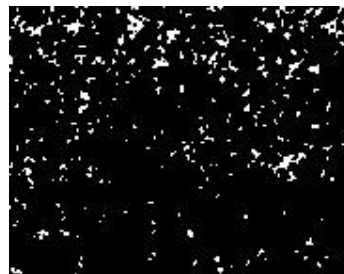
Дані від автоматизованої системи з цифровими зображеннями потрібно порівняти з даними, що отримано за відомими методиками. Це дослідження зразків з використанням мікроскопа та ручної праці дослідника. Результати, наведені у таблиці 1, підтверджують подібність результатів двох зазначених методів досліджень та вказують на можливість практичного застосування автоматизованої системи Аналіз гістограм (зразки габроїдної породи № 3, № 4 та № 7) вмісту рудних мінералів показав, що, чим більш рівномірноюзерниста і дрібнозерниста порода, тим більший вміст у ній рудного мінералу.



Рис. 1. Загальний вигляд зразка габроїдної породи Федорівського титанового родовища



а



б

Примітка: а – початкове зображення; б – зображення після виділення рудних включень

Рис. 2. Фрагмент поверхні зразка:

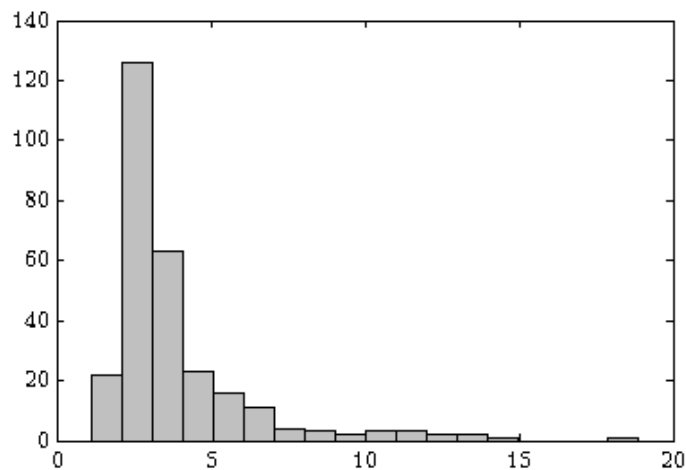


Рис. 3. Гістограма розподілу поперечних розмірів зерен рудних включень (по горизонтальній осі – поперечний розмір включень в дискретних точках зображення, по вертикальній осі – кількість включень відповідного розміру)

Методика досліджень, що пропонується, дозволяє проаналізувати значно більшу кількість зразків гірських порід родовищ та отримати більш достовірну інформацію порівняно з ручними методами досліджень. За результатами таких досліджень визначаються особливості кристалічної будови зразків, вказується наближена оцінка рудного мінералу у зразках, надаються рекомендації щодо подальшого використання родовища (видобування рудного мінералу або видобування блочного природного каменю для виготовлення промислових виробів з нього).

Таблиця 1

Геометричні характеристики структури поверхні габроїдних порід (Федорівське титанове родовище)

Характеристика	Зразки габроїдної породи						
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7
Результати, отримані за допомогою методики, що пропонується							
Відносна площа рудних включень, %	4,0	5,1	5,2	2,5	10,9	10,2	5,3
Типовий розмір зерен рудних мінералів, мм	0,35	0,35	0,35	0,57	0,23	0,11	0,23
	...	...	...	...	...	...	...
Середній розмір зерен рудних мінералів, мм	2,85	2,85	1,71	2,85	1,71	1,59	1,48
Максимальний розмір зерен рудних мінералів, мм	1,37	1,14	0,68	1,22	0,67	0,84	0,67
Результати дослідження шліфів під мікроскопом							
Відносна площа рудних включень, %	1	1	2	1	10	10	5
	– мінімальна	7	7	10	7	17	17
	– максимальна	4	4	5	4	15	15
Типовий розмір зерен рудних мінералів, мм	до 3,0	до 3,0	0,5	до 3,0	0,1	0,1	0,5
			...	...	...	...	...
Максимальний розмір зерен рудних мінералів, мм	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Максимальний розмір зерен рудних мінералів, мм	3,0	3,0	2,5	3,0	2,0	2,0	2,0

Примітка: цифрами позначені такі різновиди габроїдної породи: 1, 2, 4 – габро-анортозит, структура нерівномірно-зерниста, порфіровидна, середньо-крупнозерниста; 3 – габро середньо-крупнозернисте, структура нерівномірно-зерниста; 5, 6 – габро-перидотит, структура нерівномірно-зерниста, дрібно-середньозерниста, місцями сидеронітова; 7 – габро середньо-дрібнозернисте, структура рівномірнозерниста

Приклади використання інформаційно-комп'ютерних технологій для наукових досліджень у гірничо-геологічній галузі наведено в [11, 19]. Прикладом використання інформаційно-комп'ютерних технологій для розв'язання виробничих задач є автоматизований контроль якості поверхні облицювального каменю [20, 21].

Узагальнені результати виявлення і систематизації основних напрямів використання інформаційно-комп'ютерних технологій у гірничо-геологічній галузі відображені в таблиці 2.

Таблиця 2

*Напрями застосування автоматизованих та інформаційних систем з цифровими зображеннями в гірничо-геологічній галузі для відкритої розробки родовищ природного каменю*

Наукова або виробнича задача	Об'єкт, що досліджується або контролюється	Апаратні засоби	Вимірювання і обробка зображень	Обробка результатів вимірювань	Результат розв'язання поставленої задачі
1	2	3	4	5	6
Промислове виробництво					
1. Планування процесів видобування блоків природного каменю з урахуванням анізотропних властивостей каменю	Зразки природного каменю, що відібрані з урахуванням їх початкового розташування і орієнтації в масиві природного каменю	Планшетний сканер або цифровий фотоапарат, обчислювальний пристрій (персональний комп'ютер)	ВКВ, ВГВ, СВЗ	Визначення анізотропних властивостей родовищ природного каменю	Рекомендації по видобутку блоків природного каменю з урахуванням анізотропних властивостей каменю
2. Планування процесів розпилювання блоків природного каменю та виготовлення промислових виробів з блоків з урахуванням анізотропних властивостей каменю	Зразки природного каменю, що відібрані з блоків з урахуванням їх початкового розташування і орієнтації в блоках природного каменю	Планшетний сканер або цифровий фотоапарат, обчислювальний пристрій (персональний комп'ютер)	ВКВ, ВГВ, СВЗ	Визначення анізотропних властивостей блоків природного каменю	Рекомендації по виготовленню промислових виробів з блоків природного каменю з урахуванням анізотропних властивостей каменю
3. Створення електронних карт та цифрових паспортів родовищ природного каменю	Зразки природного каменю, що відібрані з урахуванням їх початкового розташування і орієнтації в масиві природного каменю	Планшетний сканер або цифровий фотоапарат, обчислювальний пристрій (персональний комп'ютер)	ВКВ, ВГВ, СВЗ	Введення результатів вимірювань в геоінформаційну систему	Електронні карти та паспорти родовищ природного каменю, що відображають динаміку зміни в просторі властивостей природного каменю, які суттєві для його видобутку і подальшого використання
4. Контроль якості промислових виробів з облицювального каменю	Промислові вироби з облицювального каменю	Цифрова камера, обчислювальний пристрій (промисловий комп'ютер або мікроконтролер)	ВКВ, ВГВ, СВЗ	Порівняння результатів вимірювань для виробу, що контролюється, і еталону	Висновок про придатність промислових виробів до використання
5. Визначення механічних характеристик природного каменю, що використовується в будівництві	Зразки природного каменю, що піддаються деформації і руйнуванню	Цифрова камера, обчислювальний пристрій (персональний комп'ютер)	ВГВ, СВЗ	Визначення механічних характеристик на основі результатів вимірювань динаміки зміни геометричних розмірів зразка в процесі його деформації і руйнування	Механічні характеристики природного каменю

1	2	3	4	5	6
6. Створення баз даних для САПР в галузі архітектури, підбір будівельних та облицовальних виробів з урахуванням кольору та геометричних характеристик структурних елементів поверхні	Зразки природного каменю, будівельні та облицовальні вироби	Планшетний сканер або цифровий фотоапарат, обчислювальний пристрій (персональний комп'ютер)	ВКВ, ВГВ, СВЗ	Введення результатів вимірювань в базу даних, порівняння результатів вимірювань для різних зразків і виробів	База даних зразків природного каменю, рекомендації по підбору будівельних та облицовальних виробів для споруд
7. Створення каталогів промислової продукції з природного каменю та віртуальних музеїв виробів з природного каменю	Зразки природного каменю та вироби з природного каменю	Планшетний сканер або цифровий фотоапарат, обчислювальний пристрій (персональний комп'ютер)	ВКВ, ВГВ, СВЗ	Введення результатів вимірювань у базу даних	Каталог промислової продукції з природного каменю, віртуальний музей виробів з природного каменю
Наукові дослідження					
8. Визначення та класифікація зразків гірських порід на основі дослідження їх кристалічної структури	Зразки гірських порід	Планшетний сканер або цифровий фотоапарат, обчислювальний пристрій (персональний комп'ютер)	ВКВ, ВГВ, СВЗ	Використання результатів вимірювань для класифікації зразків гірських порід	Визначення та класифікація зразків гірських порід
9. Дослідження геологічної будови та генезису масивів гірських порід, створення баз даних в галузі геології	Зразки гірських порід	Планшетний сканер або цифровий фотоапарат, обчислювальний пристрій (персональний комп'ютер)	ВКВ, ВГВ, СВЗ	Введення результатів вимірювань у базу даних або геоінформаційну систему	Висновки про геологічну будову та генезис масивів гірських порід, база даних, що містить відповідну інформацію
10. Гранулометричний аналіз осадових гірських порід	Зразки осадових гірських порід	Планшетний сканер або цифровий фотоапарат, обчислювальний пристрій (персональний комп'ютер)	ВГВ, СВЗ	Обчислення гранулометричного складу осадових гірських порід	Гранулометричний склад осадових гірських порід, висновок про генезис цих порід, висновок про можливість промислового використання цих порід
11. Визначення вмісту рудних включень у гірських породах	Зразки гірських порід	Планшетний сканер або цифровий фотоапарат, обчислювальний пристрій (персональний комп'ютер)	ВГВ, СВЗ	Обчислення відносного вмісту рудних включень в гірських породах	Відносний вміст рудних включень в гірських породах, висновок про можливість промислового використання цих порід
12. Визначення декоративних властивостей природного каменю	Зразки природного каменю	Планшетний сканер або цифровий фотоапарат, обчислювальний пристрій (персональний комп'ютер)	ВКВ, ВГВ, СВЗ	Обчислення відносної площі поверхні каменю, що має цінні декоративні властивості	Висновок про декоративні властивості природного каменю та можливість його промислового використання

*Примітки:* 1. ВКВ – вимірювання колориметричних величин по зображеннях поверхні природного каменю; ВГВ – вимірювання геометричних величин по зображеннях поверхні природного каменю; СВЗ – стиснені зображення поверхні природного каменю, яке забезпечує їх компактний розмір та можливість вимірювання колориметричних та геометричних величин з високою точністю; 2. Результати розв'язання задач 10–12 можуть бути використані як при наукових дослідженнях, так і в промисловому виробництві

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** У статті сформульовано та досліджено використання автоматизованих та інформаційних систем з цифровими зображеннями при відкритій розробці родовищ природного каменю. Автоматизовані та інформаційні системи з цифровими зображеннями дозволяють розв'язувати практичні задачі, що пов'язані з видобуванням та обробкою природного каменю.

Комп'ютеризована обробка та аналіз зображень поверхонь природного каменю та промислових виробів з нього дозволяє вимірювати характеристики кольорової текстури цих поверхонь, а також геометричні розміри та кути виробів по зовнішньому контуру. Робота вимірювального каналу автоматизованої системи базується на формуванні, введенні в комп'ютер, обробці та аналізу зображень лицьової поверхні зразків та промислових виробів з природного каменю, що отримані з родовищ відкритим способом. Отримані результати будуть корисними для визначення механічних характеристик природного каменю на ділянках родовищ, що розробляються чи плануються до розробки, для дослідження фізико-механічних характеристик гірських порід, що обумовлені їх кристалічною будовою, для контролю якості лицьової поверхні і геометричних розмірів промислових виробів з природного каменю.

Обробка та аналіз цифрових зображень надає вимірювальну інформацію про колір, структуру та фізико-механічні властивості природного каменю, отримання якої традиційними методами потребує значно більшого часу та витрат праці дослідників.

Таким чином, результати вимірювання автоматизованою системою геометричних параметрів структурних елементів поверхні зразків природного каменю забезпечують: промислову оцінку родовищ природного каменю; планування технологічних процесів видобування блоків природного каменю з родовищ; підвищення якості та конкурентоспроможності промислової продукції з природного каменю.

#### Список використаної літератури:

1. *Бакка Н.Т.* Облицовочный камень / *Н.Т. Бакка, И.В. Ильченко* // Геолого-промышленная и технологическая оценка месторождений : справочник. – М. : Недра, 1992. – 304 с.
2. *Годовиков А.А.* Минералогия / *А.А. Годовиков.* – М. : Недра, 1983. – 647 с.
3. *Добыча и обработка природного камня : справочник / под ред. А.Г. Смирнова.* – М. : Недра, 1990. – 445 с.
4. *Князев В.С.* Руководство к лабораторным занятиям по общей петрографии : учеб. пособ. для вузов / *В.С. Князев, И.Б. Кононова.* – М. : Недра, 1991. – 128 с.
5. *Логвиненко Н.В.* Методы определения осадочных пород : учебное пособие для вузов / *Н.В. Логвиненко, Э.И. Сергеева.* – Л. : Недра, 1986. – 240 с.
6. *Саранчина Г.М.* Петрография магматических и метаморфических пород / *Г.М. Саранчина, Н.Ф. Шинкарев.* – Л. : Недра, 1967. – 324 с.
7. *Абламейко С.В.* Обработка изображений: технология, методы, применение / *С.В. Абламейко, Д.М. Лагуновский.* – Минск : Институт технической кибернетики НАН Беларуси, 1999. – 300 с.
8. Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение) / Под ред. *А.Н. Писаревского, А.Ф. Чернявского.* – Л. : Машиностроение, 1988. – 424 с.
9. Дослідження можливості визначення інформаційних показників якості декоративного та облицовального каменю на підставі комп'ютерної обробки їхнього зображення : Звіт про НДР (закл.) Інв. № 0204U000748 / *В.В. Михайленко, В.В. Гнилицький, Є.С. Купкін, Ю.О. Подчаїшинський.* – К. : УкрІНТЕІ, 2004. – 120 с.
10. *Гонсалес Р.* Цифровая обработка изображений / *Р. Гонсалес, Р. Вудс.* – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с.
11. *Купкін Є.С.* Використання апаратних засобів формування цифрових відеозображень для дослідження зразків природного каменю / *Є.С. Купкін, Ю.О. Подчаїшинський, О.О. Ремезова* // Вісник ЖДТУ. Сер. : Технічні науки. – 2004. – № 2 (29). – С. 191–197.
12. *Грабар І.Г.* Термоактиваційний аналіз та синергетика : наукова монографія / *І.Г. Грабар.* – Житомир : ЖІПІ, 2002. – 312 с.
13. *Гольденберг Л.М.* Цифровая обработка сигналов / *Л.М. Гольденберг, Б.Д. Матюшкин, М.Н. Поляк.* – М. : Радио и связь, 1985. – 312 с.
14. *Шлихт Г.Ю.* Цифровая обработка цветных изображений / *Г.Ю. Шлихт.* – М. : ЭКОМ, 1997. – 336 с.
15. *Шарыгин М.Е.* Сканеры и цифровые камеры / *М.Е. Шарыгин.* – СПб. : ВHV–Санкт-Петербург, 2000. – 384 с.
16. *Дьяконов В.П.* Matlab. Обработка сигналов и изображений : спец. справочник / *В.П. Дьяконов, И.В. Абраменкова.* – СПб. : Питер, 2002.
17. *Іванов О.В.* Комп'ютерна програма визначення естетичних показників якості декоративного каменю / *О.В. Іванов, Є.С. Купкін* // Вісник ЖДТУ. Сер. : Технічні науки. – 2004. – № 4 (31). – С. 201–208.
18. *Кононов Ю.В.* Металлоносность габброидных пород Украинского щита / *Ю.В. Кононов.* – К. : Наукова думка, 1985. – 156 с.
19. Визначення показників іризації декоративного каменю / *М.Т. Бакка, А.О. Криворучко, Є.С. Купкін та ін.* // Геолого-мінералогічний вісник Криворізького технічного університету. – 2004. – № 1 (11). – С. 19–25.
20. Визначення показників кольору та геометричних характеристик текстури облицовального каменю / *М.Т. Бакка, О.О. Ремезова, А.О. Криворучко та ін.* // Сборник научных трудов Национального горного университета. – 2004. – Т. 1, № 19. – С. 23–30.
21. *Гнилицький В.В.* Контроль качества поверхности изделий из облицовочного камня с использованием нейронных сетей / *В.В. Гнилицький, Ю.А. Подчаїшинський* // Современные методы и средства

неразрушаючого контролю и технической диагностики : Материалы двенадцатой международной конференции. – К. ; Ялта : Ассоциация технологов-машиностроителей Украины, 2004. – С. 32–34.

22. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б.Яне. – М. : Техносфера, 2007. – 584 с.

#### References:

1. Bakka, N.T. and Il'chenko, I.V. (1992), «Oblitsovochnyi kamen'», *Geologo-promyshlennaya i tekhnologicheskaya otsenka mestorozhdenii*, spravochnik, Nedra, M., 304 p.
2. Godovikov, A.A. (1983), *Mineralogiya*, Nedra, M., 647 p.
3. Smirnova, A.G. (ed.) (1990), *Dobycha i obrabotka prirodnoho kamnya*, spravochnik, Nedra, M., 445 p.
4. Knyazev, V.S. and Kononova, I.B. (1991), *Rukovodstvo k laboratornym zanyatiyam po obshchei petrografii*, ucheb. posob. dlya vuzov, Nedra, M., 128 p.
5. Logvinenko, N.V. and Sergeeva, E.I. (1968), *Metody opredeleniya osadochnykh porod*, uchebnoe posobie dlya vuzov, L., Nedra, 240 p.
6. Saranchina, G.M. and Shinkarev, N.F. (1967), *Petrografiya magmaticheskikh i metamorficheskikh porod*, Nedra, L., 324 p.
7. Ablameiko, S.V. and Lagunovskii, D.M. (1999), *Obrabotka izobrazhenii: tekhnologiya, metody, primenenie*, Institut tekhnicheskoi kibernetiki NAN Belarusi, Minsk, 300 p.
8. Pisarevskogo, A.N. and Chernyavskogo, A.F. (ed.) (1998), *Sistemy tekhnicheskogo zreniya (printsipial'nye osnovy, apparatnoe i matematicheskoe obespechenie)*, Mashinostroenie, L., 424 p.
9. Myhajlenko, V.V., Gnilič'kyj, V.V., Kupkin, Je.S. and Podchashyn's'kyj, Ju.O. (2004), *Doslidzhennja mozhlyvosti vyznachennja informacijnykh pokaznykiv jakosti dekoratyvnogo ta oblycjuval'nogo kamenju na pidstavi komp'juternoi' obrobky i'hn'ogo zobrazhennja*, Zvit pro NDR (zakl.) Inv. № 0204U000748/, UkrINTEI, K., 120 p.
10. Gonsales, R. and Vuds, R. (2005), *Tsifrovaya obrabotka izobrazhenii*, Tekhnosfera, M., 1072 p.
11. Kupkin, Je.S., Podchashyn's'kyj, Ju.O. and Remezova O.O. (2004), «Vykorystannja aparatnyh zasobiv formuvannja cyfrovyh videozobrazhen' dlja doslidzhennja zrazkiv pryrodnoho kamenju», *Visnyk ZhDTU*. Ser. *Tekhnichni nauky*, No. 2 (29), pp. 191–197.
12. Grabar, I.G. (2002), *Termodinamichnij analiz ta synergetyka*, naukova monografija, ZhITI, Zhytomyr, 312 p.
13. Gol'denberg, L.M., Matyushkin, B.D. and Polyak, M.N. (1985), *Tsifrovaya obrabotka signalov*, Radio i svyaz', M., 312 p.
14. Shlikht, G.Yu. (1997), *Tsifrovaya obrabotka tsvetnykh izobrazhenii*, EKOM, M., 336 p.
15. Sharygin, M.E. (2000), *Skanery i tsifrovye kamery*, BHV–Sankt-Peterburg, SPb., 384 p.
16. D'yakonov, V.P. and Abramenkova, I.V. (2002), *Matlab. Obrabotka signalov i izobrazhenii*, spets. spravochnik, Piter, SPb.
17. Ivanov, O.V. and Kupkin, Je.S. (2004), «Komp'juterna programa vyznachennja estetychnykh pokaznykiv jakosti dekoratyvnogo kamenju», *Visnyk ZhDTU*. Ser. *Tekhnichni nauky*, No. 4 (31), pp. 201–208.
18. Kononov, Yu.V. (1985), *Metallonosnost' gabbroidnykh porod Ukrainskogo shchita*, Naukova dumka, K., 156 p.
19. Bakka, M.T., Kryvoruchko, A.O., Kupkin, Je.S. et al. (2004), «Vyznachennja pokaznykiv iryzacii' dekoratyvnogo kamenju», *Geologo-mineralogichnyj visnyk Kryvoriz'kogo tekhnicheskogo universytetu*, No. 1 (11), pp. 19–25.
20. Bakka, M.T., Remezova, O.O., Kryvoruchko, A.O. et al. (2004), «Vyznachennja pokaznykiv kol'oru ta geometrychnykh harakterystyk tekstury oblycjuval'nogo kamenju», *Sbornik nauchnykh trudov Natsional'nogo gornogo universytetu*, Vol. 1, No. 19, pp. 23–30.
21. Gnilit'skii, V.V. and Podchashinskii, Yu.A. (2004), «Kontrol' kachestva poverkhnosti izdelii iz oblitsovochnogo kamnya s ispol'zovaniem neironnykh setei», *Sovremennye metody i sredstva nerazrushayushchego kontrolya i tekhnicheskoi diagnostiki*, Materialy dvenadsatsatoi mezhdunarodnoi konferentsii, Assotsiatsiya tekhnologov-mashinostrotelei Ukrainy, K., Yalta, pp. 32–34.
22. Yane, B. (2007), *Tsifrovaya obrabotka izobrazhenii*, Tekhnosfera, M., 584 p.

**Подчашинський** Юрій Олександрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри метрології та інформаційно-виміральної техніки Державного університету «Житомирська політехніка».

<http://orcid.org/0000-0002-8344-6061>.

Наукові інтереси:

- комп'ютеризовані інформаційно-вимірвальні системи;
- цифрова обробка сигналів і зображень;
- відкрита розробка родовищ природного каменю.

**Кирилович** Валерій Анатолійович – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри робототехніки, електроенергетики та автоматизації ім. проф. Б.Б. Самотокіна Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- робототехніка;
- математичне моделювання технічних систем;
- відкрита розробка родовищ природного каменю.



Лугових Оксана Олександрівна – старший викладач кафедри метрології та інформаційно-вимірювальної техніки Державного університету «Житомирська політехніка».

<http://orcid.org/0000-0001-6138-8991>.

Наукові інтереси:

- комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи;
- цифрова обробка сигналів і зображень;
- системний аналіз складних технічних систем.

**Podchashynskyi Yu.O., Kyrylovych V.A., Luhovych O.O.**

**Application of automated and information systems with digital images in the open-pit mining of natural stone deposits**

The article considers the possibilities of using automated and information systems with digital images to solve practical problems related to the extraction and processing the natural stone. Computerized processing and image analysis of the surfaces of natural stone and industrial products made from it allows measuring the characteristics of the color, texture of these surfaces, as well as the geometric dimensions and angles of the products along the outer contour. The obtained results will be useful for determining the mechanical characteristics of natural stone in areas of deposits that are mined or planned to be mined, for the study of physical and mechanical characteristics of rocks due to their crystalline structure, for quality control of the front surface and geometric dimensions of industrial products from natural stone. An example of experimental research and evaluation of the composition and structure of samples of gabbro rock is given. The main directions of using automated and information systems with digital images to obtain measurement information about the characteristics of natural stone samples and products in the mining and geological field are presented and systematized. This makes it possible to increase the efficiency of mining operations for the open-pit mining of natural stone deposits, the accuracy of determining the characteristics of samples and products, and to increase the quality and competitiveness of industrial products of enterprises engaged in the extraction and processing block natural stone.

**Keywords:** natural stone; open-pit mining; texture and structure of natural stone samples; images with measurement information; automated system; information system.

Стаття надійшла до редакції 20.10.2022.