

**Горда Олена Володимирівна**

Кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій проектування і прикладної математики, [orcid.org/0000-0001-7380-0533](https://orcid.org/0000-0001-7380-0533)

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**АНАЛІЗ ЗОБРАЖЕННЯ ДЕФЕКТІВ  
ТИПУ «ПІТИНГ» НА ОБ'ЄКТАХ БУДІВНИЦТВА**

***Анотація.** У роботі в рамках методів неруйнівного контролю технічного стану будівель і споруд, а також будівельної техніки, визначаються і досліджуються цифрові зображення дефектів типу пітингу (Pit-дефекти), що спостерігаються на поверхні об'єктів моніторингу. Визначаються перетворення зображень, що містять Pit-дефекти (ІЗО-Pit) для цифрових зображень об'єктів будівництва. Робота виконана в рамках кластерного аналізу й орієнтована на розроблення методів побудови алгоритмів встановлення й ідентифікації дефектів такого типу на об'єктах будівництва. Для описаних перетворень проведено дослідження стосовно можливості спостереження дефектів цього типу на цифрових зображеннях, особливостей їх представлення на цифрових зображеннях, визначено основні їх елементи. Виконана формалізація перетворень для вирішення завдань розпізнання та ідентифікації зазначених дефектів в рамках оптичного методу неруйнівного контролю, а також можливі спостереження інваріантів перетворень.*

**Ключові слова:** зображення; дефект; пітинг; перетворення; інваріант; кластер; багато вид; підгрупа; формалізація

**Актуальність**

Для виявлення і класифікації пошкоджень конструкцій, будівельних споруд загалом здійснюється моніторинг технічного стану об'єктів будівництва, який дає змогу попереджати виникнення небажаних та аварійних ситуацій. При розробленні та дослідженні систем технічної діагностики станів об'єктів будівництва застосовують методи штучного інтелекту (зокрема методи кластерного аналізу цифрових зображень) з метою виявлення різних дефектів, включаючи дефекти типу пітингу (Pit-дефекти), які є наслідками пітингової корозії, що спричинена агресивним впливом зовнішнього середовища. Пітинг проявляється у вигляді плям або появи заглиблень на поверхні. Пітинги виникають переважно на поверхні у місцях різних дефектів (тріщин, пор, мікротрещин, виходу на поверхню границь зерен матеріалу і т. п.).

Головною перспективою розвитку систем моніторингу об'єктів будівництва є створення професійно-розроблених постійно діючих автоматизованих систем контролю їх технічного стану, суть яких полягає у аналізі динаміки зміни технічного стану, а саме прогнозуванні, виявленні та класифікації дефектів без активного впливу на об'єкт моніторингу.

Актуальність роботи визначається розширенням застосування і удосконаленням

методів неруйнівного контролю технічного стану об'єктів будівництва на основі зображень web-камер і дослідження представленої на них інформації; для розпізнання зображень дефектів структури середовища, у якому ці дефекти з'являються, можна проводити їхній моніторинг для широкого класу зображень з врахуванням особливостей матеріалу самого об'єкта та різних середовищ.

Перетворення зображення Pit-дефектів (ІЗО-Pit) є не що інше, як спосіб обліку різних умов формування його зображення, що є попереднім етапом перед опрацюванням і розпізнаванням. Все вищезгадане обумовлює актуальність запропонованої дослідницької роботи.

**Аналіз літературних джерел**

Складність завдання моніторингу поверхонь споруд часто пов'язана з доступністю їх важливих конструкцій і вузлів, що робить методи оптичного контролю на основі обробки цифрових зображень все більш популярними [1].

Окрім аспекти завдання виявлення дефектів розглядаються в роботах, пов'язаних з дослідженнями механіки дефектоутворення [2] і поширення їх в суцільних середовищах [3].

Завдання оброблення цифрових зображень є частиною теорії розпізнавання образів основні методи і моделі, якої викладені в низці монографій [4; 5].

Оскільки дефект будівельних об'єктів являє собою складний об'єкт дослідження, який може мати різноманітні форми прояву, що робить практично неможливим створення еталона, а його зображення на цифрових знімках може спотворюватися, або перекриватися супутніми дефектами, для його виявлення та ідентифікації на основі цифрових зображень необхідно розробити комплексний підхід з урахуванням специфіки об'єкта дослідження.

### Мета статті

Метою роботи є визначення і дослідження формалізації зображення Pit-дефектів об'єктів будівництва (ISO-Pit), а також дослідження перетворень цифрового зображення дефекту, виходячи з його формування для вирішення завдань розпізнавання та ідентифікації в рамках оптичного методу неруйнівного контролю об'єктів будівництва.

Назва пітинг зазвичай використовують стосовно до глибоких точкових уражень.

Залежно від умов формування і розвитку (температура, кислотність, хімічний склад розчину) форма питингів може бути різною. Пітинги бувають півсферичні, циліндричні, поліедричні, відкриті, закриті і т.д.

Для досягнення поставлених цілей необхідно вирішити такі завдання:

- 1) описати елементи і клас Pit-дефектів;
- 2) визначити перетворення зображення Pit-дефектів, виходячи з особливостей його формування;
- 3) визначити поняття зображення Pit-дефекту з точки зору кластерного аналізу.

### Викладення основного матеріалу

Вихідними даними для визначення Pit-дефектів служать зображення поверхні об'єкта будівництва. Основним завданням формалізації опису зображення, що відповідає двомірним даним інформації, є отримання інформації, придатної для отримання знань, з метою побудови систем контролю технічного стану об'єкта будівництва і її осмислення шляхом зіставлення з наявними результатами моніторингу або для формування нових кластерів поняття Pit-дефектів на основі принципів близькості, схожості, суміжності.

Слід зазначити, що з точки зору інформаційної теорії ідентифікації, за рахунок можливостей якої визначаються структура і параметри Pit-дефектів, за даними спостереження, необхідно забезпечити можливість використання алгоритмів обліку апріорної інформації, як сукупності образів елементів Pit-дефектів і пов'язаних з ними представлень.

До елементів класу Pit-дефектів належать:

- воронки;
- ямки;

- порожнини;
- подряпини;
- каверни та пори;
- раковини;
- задири;
- пітинги (плями);
- вм'ятини;
- кратери.

Розглянемо наведені дефекти більш детально.

**1. Воронка.** Конусоподібний дефект, що розширюється уверх і являє собою чашоподібну западину, поглиблення на відносно рівній поверхні будівельного об'єкта (рис. 1).

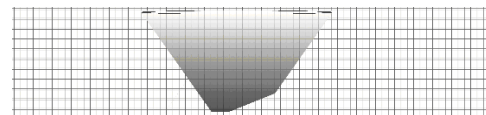


Рисунок 1 – Воронка

**2. Ямка.** Поглиблення, що утворилося на поверхні будівельного об'єкта, довільної, часто складної форми, що розширюється уверх (рис. 2).

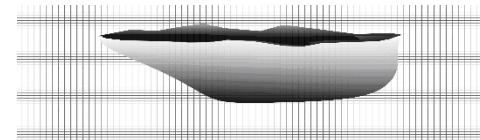


Рисунок 2 – Ямка

**3. Порожнина.** Порожній простір, що утворився усередині будівельного об'єкта і має вихід на поверхню (рис. 3).

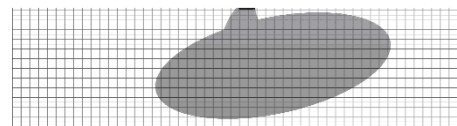


Рисунок 3 – Порожнина

**4. Подряпина.** Дефект у вигляді вузької смужки на поверхні будівельного об'єкта, глибина якого поступово зменшується до кінців (рис. 4).

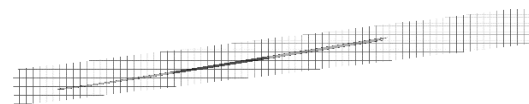


Рисунок 4 – Подряпина

**5. Каверни та пори.** Дефект у вигляді циліндроїду, що розширюється уверх, та являє собою заглиблення на відносно рівній поверхні об'єкта будівництва (рис. 5).

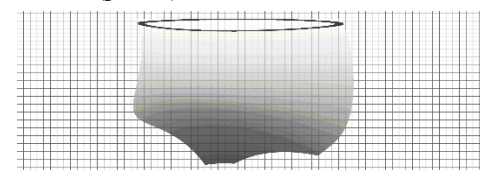


Рисунок 5 – Каверни та пори

**6. Раковини.** Конусоподібне заглиблення, що розширюється уверх, утворене на поверхні об'єкта будівництва, в поперечному перерізі якого еліпси або коло (рис. 6).

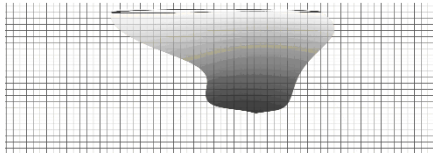


Рисунок 6 – Раковина

**7. Задири.** Дефект поверхні у вигляді поглибленої борозни з нерівним дном і краями з відтискуванням матеріалу як в сторони, так і по напрямку ковзання, що утворився внаслідок різкого тертя або відриву (рис. 7).



Рисунок 7 – Задири

**8. Пітинг.** Сукупність маленьких заглиблень на поверхні будівельного об'єкта, обмежена точкою або малою площею, яка спостерігається на поверхні у вигляді точок або плям (рис. 8).

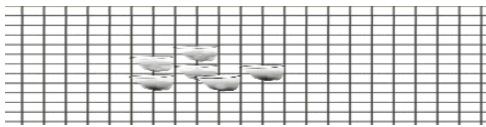


Рисунок 8 – Пітинг

**9. Вм'ятина.** Сфероподібна западина, що розширюється уверх і являє собою чашоподібне поглиблення на відносно рівній поверхні будівельного об'єкта (рис. 9).

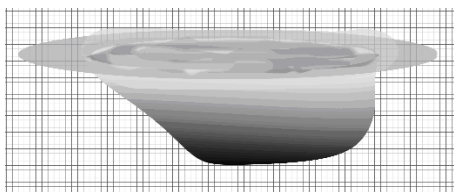


Рисунок 9 – Вм'ятина

**10. Кратер.** Прості поглиблення у формі чаші або представлені як складні багатокільцеві структури з піднятими краями і більш низьким, ніж у поверхні будівельного об'єкта, рівнем дна (рис. 10).

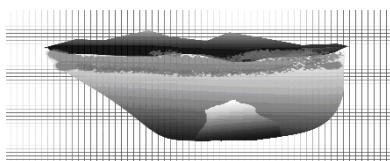


Рисунок 10 – Кратер

Різноманітність проявів Ріт-дефектів значною мірою залежить від процесів, які спричинили їх

виникнення. Класифікація процесів утворення дефектів такого типу проводиться за різними характеристиками, наприклад, розрізняють дискретні та неперервні процеси, залежно від механізму – хімічні, електрохімічні, біохімічні процеси і т. д.

Виокремимо основні процеси, що призводять до появи Ріт-дефектів на поверхнях ОБ:

Ерозії [6; 7]:

- іскрова;
- вітрова;
- руслова;
- дугова;
- волого-парова;
- крапле-ударна;
- овражна;
- теплова, оплавлення, мікроевипаровування;
- механічна (зношення);
- корозійна;
- радіаційна;
- кавітаційна;
- під дієюпотужних променів заряджених частинок.

Пошкодження від рідини [8; 9]:

- внаслідок деформації;
- розповсюдженняхвиль напруги;
- поперечного розтікання струменів;
- проникнення рідини всередину тіла;
- гідроабразивні струмені.
- Ударне руйнування [10; 11]:
- крихкий удар;
- пластичний удар;
- кратер – утвореннявід ударів;
- кратер – утворення від пластичної деформації;
- поперечнихвилі Релея;
- тріщини Герца із суміжних дефектів;
- поверхневихвилі;
- продольні делатаційнихвилі;
- смуга ковзання;
- надріз;
- суміжні деформаційні двійники.

Віднесення маси [12 – 14]:

- поверхнєве розчинення в умовах відсутності плівки;
- деформація як смуга пропахування – викид матеріалу у вал;
- деформація як смуга зрізу – викид матеріалу з об'єкта;
- абсорбційне утворення воронки;
- зона високої щільності дислокацій.

Елементами Ріт-дефекту в термінах [15; 16 ] є (рис. 11):

- кромка – замкнена лінія на плоскій поверхні об'єкта, яка є границею Ріт-дефекту;

- дно – точка, рів, площина Pit-дефекту максимально віддалена вглиб від поверхні об'єкта;
- берег – частина Pit-дефекту від кромки рівня поверхні об'єкта до дна;
- ободок – частина берега Pit-дефекту серпоподібна фігура або кільце змінної ширини заокруглення всередину від кромки рівня поверхні об'єкта;
- вал – частина берега Pit-дефекту серпоподібна фігура або кільце змінної ширини, утворене зміщенням матеріалом від кромки рівня поверхні об'єкта над площиною поверхні об'єкта;
- хвіст – частина Pit-дефекту від кромки рівня поверхні об'єкта до кромки над площиною поверхні об'єкта, утворена виїмкою і подальшим переміщенням матеріалу об'єкта, і розміщенням у вигляді стягуючої або факелоподібної фігури;
- пік – зв'язна частина Pit-дефекту від фіксованого рівня і вище, що не є берегом.

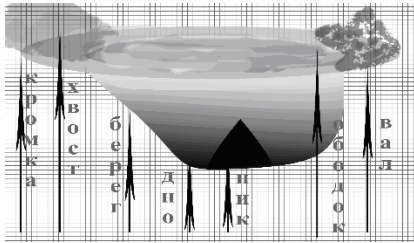


Рисунок 11 – Елементи Pit-дефекту

Параметрами Pit-дефекту, що спостерігаються, є:

- площа – величина функції наявності Pit-дефекту на зображенні;
- еліптичність – міра апроксимації площі дислокації Pit-дефекту еліпсом;
- симетричність площі дислокації Pit-дефекту;
- орієнтація площі дислокації Pit-дефекту як упорядкована пара осей апроксимуючого еліпса;
- кути сходження – мінімальний кут сходження та максимальний кут сходження між берегом і дном;
- колористика – колірний атлас Pit-дефекту;
- ступінчастість берега Pit-дефекту;
- середня глибина занурення Pit-дефекту за мірою функції присутності.

Цифрові зображення web-камер дають змогу і забезпечують можливість застосування таких перетворень (процедур), як інтерполяція, трансформації, як мінімум лінійні, афінні перетворення об'єктів на зображенні, фрагментація, подібні перетворення зображень як і в цілому, так і окремих площі.

Визначимо і розглянемо перетворення зображення Pit-дефекту (ІЗО-Pit):

- R: – поворот ІЗО-Pit, еквівалентний обходу сканером по колу або сфері об'єкта моніторингу, що містить Pit-дефекти;
- P: – перенесення ІЗО-Pit як еквівалента

зміщення площини сканування вздовж площини, що містить об'єкт сканування;

- O: – відображення ІЗО-Pit, що еквівалентно відображенню зображення щодо осі в площі сканування;
- M: – масштабування ІЗО-Pit, що еквівалентно зсуву площі сканування вздовж азимутальної осі у напрямку до об'єкта моніторингу;
- F: – фрагментування ІЗО-Pit, що еквівалентно представленню (розбиттю) площі сканування у вигляді об'єднання площі сканування об'єкта моніторингу як покриття;
- Z: – пороги ізогелію, що еквівалентно зміні (обмеження) світіння (яскравості) в каналах ІЗО-Pit;
- C: – розфарбування, формування нових кривих кольору для ІЗО-Pit;
- D: – дискретизація за величиною вікна, що еквівалентно їх зміні різкості ІЗО-Pit;
- Y: – яскравості перетворення, що еквівалентно зміні експозиції формування ІЗО-Pit;
- K: – перетворення контрасту ІЗО-Pit, що еквівалентно перетворенню розташування фокальної площини при формуванні зображення уздовж азимуту на об'єкті зйомки.

Деформація ІЗО-Pit будемо визначати в термінах формуючого тракту зображення.

Під зворотністю перетворення розуміється наявність у перетворення зворотного перетворення.

Неперервність перетворення та зміна суміжності розуміються в термінах топології простору  $W$ .

Наявність інваріантів перетворення означає існування властивостей ІЗО-Pit, що не змінюються цими перетвореннями.

Породження перетворенням класів еквівалентності – здатність перетворення утворювати класи еквівалентності і на їх основі здійснювати розбиття ІЗО-Pit.

Породження перетворенням класів – здатність перетворення утворювати із заданою точністю класи квазіеквівалентності, і на їх основі покриття ІЗО-Pit.

Визначимо перетворення і спотворення ІЗО-Pit:

- 1) перетворення деформації ІЗО-Pit;
- 2) перетворення спотворення ІЗО-Pit;
- 3) перетворення і зворотність на ІЗО-Pit;
- 4) перетворення і неперервність на ІЗО-Pit;
- 5) перетворення і суміжність (сусідство) на ІЗО-Pit;
- 6) перетворення і їх інваріанти на ІЗО-Pit;
- 7) перетворення і їх інваріантність щодо ІЗО-Pit;
- 8) перетворення і еквівалентність ІЗО-Pit.

До перетворень ІЗО-Pit належать такі перетворення:

- 1) зберігаючі площу Pit-дефекту;
- 2) зберігаючі довжину границі Pit-дефекту;

- 3) зберігаючі величину ознаки (абсолютну, відносну);
- 4) зберігаючі дескриптивні ознаки (структурні інваріанти);
- 5) зберігаючі колірний атлас Pit-дефекту;
- 6) зберігаючі мінімум ознаки в локалізації Pit-дефекту (інваріант);
- 7) зберігаючі максимум ознаки в локалізації Pit-дефекту (інваріант);
- 8) зберігаючі кластер елементу дескриптивної ознаки Pit-дефекту.

## Висновки

1. Pit-дефекти, визначені вищеописаним чином, дають змогу застосувати структурно-морфологічні методи для побудови систем інтелектуальної інформаційної системи ідентифікації дефектів будівельних конструкцій і споруд.
2. Визначено в рамках кластерного аналізу поняття ІЗО-Pit.  
Визначено перетворення ІЗО-Pit.

## Список літератури

1. Горда Е.В. Особенности визуализации дефектов строительных машин, оборудования и сооружений на основе изображений оптического диапазона // Теорія і практика будівництва №7. – К., 2011 р. – С. 22-24.
2. Брок Д. Основы механики разрушения. – М.: Высшая школа, 1980. – 368 с.
3. Работнов Ю.Н. Введение в механику разрушения. – М.: Наука, 1987. – 80 с.
4. Ту Дж., Гонсалес Р., Принципы распознавания образов. – М.: Мир, 1978. – 412 с.
5. Экштайн В. Компьютерное моделирование взаимодействия частиц с поверхностью твердого тела. – М.: Мир, 1995. – 322 с.
6. Эрозия: Пер. с англ./Под ред. К. Пирс. – М.: Мир, 1982. – 464 с.
7. Коррозия: Справочник / Под ред. Л. Л. Шрайера. – М.: Металлургия, 1981. – 632 с.
8. Уилкинс М.Л. Расчет упругопластических течений // Вычислительные методы в гидродинамике. – М.: Мир, 1967. – С. 212-263.
9. Гетьман А.Ф., Козин Ю.Н. Неразрушающий контроль и безопасность эксплуатации сосудов и трубопроводов давления – М., Энергоатомиздат, 1997. – 288 с.
10. Физика взрыва / Под ред. К.П. Станюковича. – М.: Наука, 1975. – 704 с.
11. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. – М.: Мир, 1989. – 510 с.
12. Зиновьев В.Е. Теплофизические свойства материалов при высоких температурах: Справочник. – М.: Металлургия, 1989. – 384 с.
13. Фальконе Д. Теория распыления // Успехи физических наук. – 1992. – Т. 162. – № 1. – С. 71-117.
14. Беспалов В.И. Основы взаимодействия излучений с веществом. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 269 с.
15. Горда О.В. Моделивання метрик в просторі цифрового зображення дефекту типу «тріщина». Управління розвитком складних систем. – К.: КНУБА, 2014. – Вип. 17. – С. 112-120.
16. Горда О.В. Дослідження функції присутності дефекту типу «тріщина» на цифрових зображеннях об'єктів будівництва // Управління розвитком складних систем. – Київ. – Вип. 10, 2012 р. – С. 112-114.

Стаття надійшла до редколегії 06.11.2019

### Горда Елена Владимировна

Кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий проектирования и прикладной математики, [orcid.org/0000-0001-7380-0533](https://orcid.org/0000-0001-7380-0533)

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

### АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ТИПА «ПИТТИНГ» НА ОБЪЕКТАХ СТРОИТЕЛЬСТВА

**Аннотация.** В работе в рамках методов неразрушающего контроля технического состояния зданий и сооружений, а также строительной техники, определяются и исследуются цифровые изображения дефектов типа «питтинг» (Pit-дефекты), наблюдаемых на поверхности объектов мониторинга. Определяются преобразования изображений, содержащих Pit-дефекты (ИЗО-Pit) для цифровых изображений объектов строительства. Работа выполнена в рамках кластерного анализа и ориентирована на разработку методов построения алгоритмов установления и идентификации дефектов данного типа на объектах строительства. Для описанных преобразований проведены исследования о возможности наблюдения дефектов данного типа на цифровых изображениях, особенностей их представления на цифровых изображениях, определены основные их элементы. Выполнена формализация преобразований для решения задач распознавания и идентификации указанных дефектов в рамках оптического метода неразрушающего контроля, а также возможные наблюдения инвариантов преобразований.

**Ключевые слова:** изображение; дефект; питтинг; преобразования; инвариант; кластер; різновидностей; підгрупа; формалізація

**Gorda Elena**

Assistant professor of information technology design and applied mathematics, [orcid.org/0000-0001-7380-0533](https://orcid.org/0000-0001-7380-0533)  
KyivNationalUniversity of Construction and Architecture, Kyiv

**ANALYSIS OF THE PITTING TYPE DEFECT ON CONSTRUCTION OBJECTS**

**Abstract.** In the framework of non-destructive testing methods for the technical condition of buildings and structures, as well as construction equipment, digital images of pitting defects (Pit defects) observed on the surface of monitoring objects are determined and investigated. The transformations of images containing Pit defects (ISO-Pit) for digital images of construction objects are determined. The work was performed as part of a cluster analysis and is focused on the development of methods for constructing algorithms for identifying and identifying defects of this type at construction sites. For the described transformations, studies have been carried out on the possibility of observing defects of a given type of digital images, the features of their presentation of digital images, and their basic elements have been identified. Transforms are formalized to solve the problems of recognition and identification of these defects within the framework of the optical non-destructive testing method, as well as possible observations of transform invariants.

**Keywords:** image, defect, pitting, transformations, invariant, cluster, varieties, semigroup, formalization

**References**

1. Gorda, E.V. (2011). Peculiarities of visualization of defects in construction machines, equipment and structures based on images of the optical range. *Theory and practice of construction*, 7, 22 – 24.
2. Broek, D. (1980). *Fundamentals of fracture mechanics*. [Text]. Moscow: Higher School, 368.
3. Rabotnov, Yu.N. (1987). *Introduction to fracture mechanics: Nauka*, 80.
4. Tu, J., Gonzalez, R. (1978). *Principles of pattern recognition*. [Text]. Moscow: Mir, 412.
5. Eckstein, V. (1995). *Computer simulation of the interaction of particles with a solid surface*. [Text]. Moscow: Mir, 322.
6. *Erosion: Trans. from English*. (1982). Ed. K. Pierce. [Text]. Moscow: Mir, 464.
7. *Corrosion: Handbook*. (1981). Ed. L.L. Schreier. [Text]. Moscow: Metallurgy, 632.
8. Wilkins, M.L. (1967). *Calculation of Elastoplastic Flows. Computational Methods in Hydrodynamics*. [Text]. Moscow: Mir, 212-263.
9. Getman, A.F., Kozin, Yu.N. (1997). *Non-destructive testing and operation safety of pressure vessels and pipelines*. [Text]. Moscow: Energoatomizdat, 288.
10. *Explosion Physics*. Ed. K.P. Stanyukovich. [Text]. Moscow: Nauka, 704.
11. Johnson, K. (1989). *Mechanics of Contact Interaction*. [Text]. Moscow: Mir, 510.
12. Zinoviev, V.E. (1989). *Thermophysical properties of materials at high temperatures: a Handbook*. [Text]. Moscow: Metallurgy, 384.
13. Falcone, D. (1992). *Spray Theory*. *Uspekhi Fizicheskikh Nauk*, 162, 1, 71 – 117.
14. Bepalov, V.I. (2003). *Fundamentals of the interaction of radiation with matter*. [Text]. Tomsk: TPU Publishing House, 269.
15. Gorda, O. (2014). *Modeling of metrics in the space of digital image to a defect of type "crack"*. *Management of Development of Complex Systems*, 17, 112 – 120.
16. Gorda, O. (2012). *Reporting the presence of a defect of the "crack" type on the digital images of the building objects*. *Management of Development of Complex Systems*, 10, 112 – 114.

**Посилання на публікацію**

- APA Gorda, Elena, (2019). *Analysis of the pitting type defect on construction objects*. *Management of Development of Complex Systems*, 40, 112 – 117; [dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.11969055](https://dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.11969055).
- ДСТУ Горда О.В. Аналіз зображення дефектів типу "пітинг" на об'єктах будівництва [Текст] / О.В. Горда // Управління розвитком складних систем. – 2019. – № 40. – С. 112 – 117; [dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.11969055](https://dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.11969055).