

УДК 778.528.7

**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)

Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ

**ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ  
ДЕФЕКТА ТИПА "ТРЕЩИНА"**

***Аннотация.** При разработке и исследовании систем технической диагностики состояния объекта строительства для неразрушающего контроля с целью выявления различных дефектов, включая трещины, применяются методы искусственного интеллекта, в частности методы кластерного анализа цифровых изображений. Учитывая, что современные web-камеры отображают широкий диапазон цветов, применяется упрощение в воспроизведении, при этом возможна потеря информации на этапе преобразований изображения. Поэтому обработка таких изображений требует значительных ресурсов. В работе определяются и исследуются преобразования изображения, содержащего дефект типа «трещина» (ИЗОДТТ) для цифровых изображений объектов строительства. Определена возможность преобразований относительно цифрового изображения и сохранения свойств изображения при их применении. Работа выполнена в рамках кластерного анализа ИЗОДТТ и ориентирована на разработку методов построения алгоритмов распознавания и идентификации трещин на строительных объектах. Для описанных преобразований проведены исследования по их наблюдаемости на цифровых изображениях, а также по наблюдаемости инвариантов преобразований. Описана структура многообразия ДТТ как двухпараметрической полугруппы с единицей.*

***Ключевые слова:** изображение; дефект; трещина; признак; наблюдаемость; преобразование; инвариант; кластер; многообразие; полугруппа*

**Актуальность**

При разработке и исследовании систем технической диагностики состояния объекта строительства применяются методы искусственного интеллекта, в частности методы кластерного анализа цифровых изображений с целью выявления различных дефектов, включая трещины, на основе оптических методов неразрушающего контроля.

Преобразования изображения дефекта типа "трещина" (ИЗОДТТ) есть не что иное, как способ учета различных условий формирования ИЗОДТТ, которые выполняются на предварительном этапе перед обработкой цифрового изображения и распознаванием находящихся на нем объектов. Все вышесказанное обуславливает актуальность данной исследовательской работы.

**Анализ литературных источников**

Своевременное выявление дефектов объектов строительства обусловлено необходимостью обеспечения безопасности их эксплуатации. Сложность задачи мониторинга поверхностей сооружений часто связана с малой доступностью основных конструкций и узлов сооружений, что

делает методы оптического контроля на основе обработки цифровых изображений все более популярными [1].

Отдельные аспекты задачи выявления дефекта типа "трещина" (ДТТ) рассматриваются в работах, связанных с исследованиями механики трещинообразования [2] в сплошных средах [3].

Обработка цифровых изображений является частью теории распознавания образов, основные методы и модели которой изложены в ряде монографий [4 – 6].

Так как трещина представляет собой сложный объект исследования, который может иметь многообразные формы проявления, что делает практически невозможным создание эталона, изображение которого на цифровых снимках может искажаться, или перекрываться сопутствующими дефектами. Для его выявления и идентификации на основе цифровых изображений необходимо разработать комплексный подход с учетом специфики объекта исследования.

Предварительные исследования по данной тематике представлены в работах [7; 8], где представлены состав и конфигурации ИЗОДТТ, и топология ИЗОДТТ. Основываясь на полученных

результатах, можно определить, описать и исследовать преобразования ИЗОДТТ, как заключительный этап его кластерного анализа.

### Цель статьи

Целью работы является исследование преобразования ИЗОДТТ, исходя из его формирования для решения задач распознавания и идентификации в рамках оптического метода неразрушающего контроля объектов строительства.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Определить преобразования ИЗОДТТ, исходя из его формирования.
2. Исследовать преобразования ИЗОДТТ на предмет существования инвариантов.
3. Описать понятие и структуру ИЗОДТТ в рамках кластерного анализа.

### Изложение основного материала

Получаемые с помощью web-камер в процессе мониторинга технического состояния строительных объектов цифровые изображения являются растровыми и, как правило, представляются в цветовой модели GrayScale в форматах \*.jpg или \*.tiff. Эти изображения отличаются высокой (фотографической) степенью точности воспроизведения поверхности объекта мониторинга и передачей полутонов. Но им присущи и определенные недостатки. Например, при обработке пикселизация делает невозможной с точки зрения адекватности такую процедуру как масштабирование (зумирование). Это приводит к размытию и искажению изображения, а также исключает фрагментарную обработку с последующим сведением фрагментов в одно целое.

Вместе с тем, учитывая, что современные web-камеры хотя и отображают широкий диапазон цветов, упрощение при воспроизведении снимка, на этапе преобразований изображения возможна потеря информации. Поэтому обработка таких изображений требует значительных ресурсов.

Как было показано в [10], цифровые изображения web-камер обеспечивают применимость таких преобразований (процедур), как: интерполяция; трансформация (как минимум линейная); аффинные преобразования объектов на изображении; фильтрация; фрагментация; преобразования как целых изображений, так и отдельных объектов.

Определим и рассмотрим следующие преобразования ИЗОДТТ:

–  $R$  – поворот ИЗОДТТ, эквивалентен обходу сканером по кругу или шару объекта мониторинга, содержащего трещины;

–  $P$  – перенос ИЗОДТТ, эквивалентен смещению плоскости сканирования вдоль плоскости, содержащей плоскость объекта сканирования;

–  $O$  – отражение ИЗОДТТ, эквивалентно отражению ИЗОДТТ относительно оси в области сканирования;

–  $M$  – масштабирование ИЗОДТТ, эквивалентно смещению области сканирования вдоль азимутальной оси по направлению к объекту мониторинга;

–  $F$  – фрагментирование ИЗОДТТ, эквивалентно представлению (разбиению) области сканирования в виде объединения как покрытия областей сканирования объекта мониторинга;

–  $Z$  – пороги изогелия, эквивалентно изменению (ограничению) свечения (яркости) в каналах ИЗОДТТ;

–  $C$  – раскраски, формирование новых кривых цветопередачи для ИЗОДТТ;

–  $D$  – дискретизация по величине окна, эквивалентно изменению резкости ИЗОДТТ;

–  $Y$  – преобразование яркости, эквивалентно изменению экспозиции формирования ИЗОДТТ;

–  $K$  – преобразование контрастности ИЗОДТТ, эквивалентно преобразованию расположения фокальной плоскости при формировании ИЗОДТТ вдоль азимута на объекте съемки.

Деформация ИЗОДТТ определяется в терминах формирующего тракта ИЗОДТТ [9].

Под обратимостью преобразования подразумевается наличие у него обратного преобразования.

Непрерывность преобразования определяется в терминах топологии пространства  $W$ .

Определение смежности подразумевается в терминах топологии пространства  $W$ .

Инварианты преобразования – это все, что не изменяется данными преобразованиями.

Инвариантность преобразования относительно ИЗОДТТ – это свойства ИЗОДТТ, не изменяющиеся данными преобразованиями.

Порождение преобразованием классов эквивалентности – это способность преобразования образовывать классы эквивалентности и на их основе осуществлять разбиения ИЗОДТТ.

Порождение преобразованием классов квазиэквивалентности – это способность преобразования образовывать с заданной точностью классы квазиэквивалентности, и на их основе синтезировать покрытия ИЗОДТТ.

Свойства, сохраняемые преобразованиями, приведены в табл. 1, а основные характеристики преобразований – в табл. 2.

Таблиця 1 – Свойства, сохраняемые преобразованиями

Сохраняемое свойство	Преобразования									
	R	P	O	M	F	Z	C	D	Y	K
Площадь S	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-
Длина границы	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-
Величина признака (абс. и отн.)	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-
Структурные (дескриптивные) признаки	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-
Цветовой атлас	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+
Мин признака в локализации	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Мах признака в локализации	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Кластер элемента дескриптивного признака	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-

Таблиця 2 – Характеристики преобразований

Свойства	Преобразования									
	R	P	O	M	F	Z	C	D	Y	K
Деформация	-	-	-	+	-	+	-	+	+	+
Искажение	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+
Обратимость	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+
Непрерывность	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-
Смежность	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-
Инварианты	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
Инвариантность относительно ИЗО	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-
Эквивалентность	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
Квазиэквивалентность	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+

Исследуемые преобразования логично разделить на три класса относительно ИЗОДТТ:

1 – преобразования места расположения ИЗОДТТ на матрице изображения  $W$  (сюда относятся преобразования  $R, P, O, M$ );

2 – преобразования веса ИЗОДТТ на  $W$  (сюда относятся преобразования  $F, D$ );

3 – преобразования функций, заданных на  $W$ , и формирующих ИЗОДТТ (сюда относятся преобразования  $Z, C, Y, K$ ).

Выполнимость (применимость) преобразований относительно ИЗОДТТ определяется также объектом мониторинга:

1. Если образ ИЗОДТТ, соответствующий объекту мониторинга, есть подмножество фокальной плоскости  $W$ , то выполняемы  $R, P, O, M, F, D$ .

2. Если точка «черного» («точка белого») на ИЗОДТТ обеспечивает спектр теней объекта мониторинга, то выполнимо  $K, Y, C, Z$ .

3. Если размерность  $W$  велика и  $W$  содержит ИЗОДТТ, то выполняемы  $M, P, K$ .

Таким образом, множество преобразований ИЗОДТТ относительно применимости к объектам мониторинга представляет собой двухпараметрическое многообразие, на котором задана полугруппа с единицей.

Введем обозначения:

- $\Omega$  – изображение трещины на  $W$ ;
- $W$  – дискретное двумерное топологическое многообразие размерности  $n \times m$ ;
- $HOM(W)$  – гомоморфизмы на  $W$ ;
- $AUT(W)$  – автоморфизмы на  $W$ ;
- $Q(W)$  – распределение значений яркости и цветности на  $W$ ;

–  $Q(W)$  – фиксированная система непересекающихся подмножеств в  $W$ ;

–  $G = \{g_i\}^k$  – преобразования яркости и цветности, где  $\forall i \ g_i : Q(W) \rightarrow g_i \circ Q(W)$ ;

–  $H = \{h_i\}^k$  – гомоморфизм топологий на  $Q(W)$ , где  $\forall i \ h_i : \Omega(W) \rightarrow h_i \circ \Omega(W)$ ;

$$- w_j \in \Omega : w_j \rightarrow h_j \circ w_j, w_j \cap h_j \circ w_j \neq \emptyset.$$

Пусть  $W_0 = \{w_j^0\}^n$  – множество выделенных (базовых) элементов на  $\Omega(W)$  есть конечная топологическая база  $\Omega$  по объединению, т.е.:

$$\bigcup_j^n w_j^0 = \Omega(W),$$

$$|w_j^0 \wedge w_i^0| = \begin{cases} 0, & \text{не смежны в } W; \\ \neq 0, & w_i, w_j \text{ – смежны в } W. \end{cases}$$

$Con(\Omega, 1_h, 1_g, W_0)$  – эталонная конфигурация на  $\Omega$ , порождаемая элементами  $W_0$ , где  $1_h, 1_g$  – тождественные преобразования.

$Con(\Omega, H, G, W_0)$  – конфигурация, порождаемая на  $\Omega$  элементами  $W_0$  и всеми преобразованиями  $\{h_i\}, \{g_j\}$  во всех сочетаниях.

Пусть  $\Omega_\varepsilon : \Omega_\varepsilon \subset W, \Omega_\varepsilon \supset \Omega, \partial\Omega \subset \Omega_\varepsilon$ , где  $\partial\Omega$  – граница изображения трещины на  $W$ .

Зададим на  $\Omega(W)$  два класса функций:

–  $K_1(w)$  – параметрические признаки на  $\Omega(W)$ ;

–  $K_2(w)$  – дескриптивные признаки на  $\Omega(W)$ .

Преобразования  $h_i^0, g_j^0$  являются  $\varepsilon$ -допустимыми – на  $\Omega(W)$ , если

$$\forall w \in \Omega(W), \forall \varepsilon > 0 \quad \|w \setminus h_i(w)\|_H < \varepsilon$$

и норма  $\|w \setminus g_j(w)\|_G < \varepsilon$  в любом направлении в метрике, задаваемой топологией на  $W$ , где нормы  $\|\cdot\|_H$  и  $\|\cdot\|_G$  собственно задаются на классах  $K_1(w)$  и  $K_2(w)$ .

Тогда определим изображение типа «трещина»: изображение  $\Omega(W)$  является ИЗОДТТ если:

– для  $\Omega(W)$  определены признаки  $K_1(w)$  и  $K_2(w)$ ;

– определено  $\varepsilon$ -допустимое преобразование на  $\Omega(W)$ , состоящие из преобразований  $H$  и  $G$ , выстроенные в заданную последовательность;

– для данных  $\varepsilon$ -преобразований  $\Omega(W)$  является инвариантом в том смысле, что сохраняется эталонная конфигурация и базовые элементы.

### Выводы

1. Определены преобразования ИЗОДТТ в том числе допускающие инварианты.

2. Описана структура многообразия преобразований ИЗОДТТ.

3. Определены преобразования ИЗОДТТ как отдельный этап его кластерного анализа.

### Список литературы

1. Тэплин Д. Механика разрушения. Разрушение конструкций. – М.: Мир, 1980. – 256 с.
2. Эрдоган Ф. Теория распространения трещин. т. 2. – М.: Мир, 1975. – 440 с.
3. Морозов Н.Ф. Математические вопросы теории трещин. – М.: Наука, 1984. – 256 с.
4. Вапник В. Н., Червоненкис А. Я. Теория распознавания образов. – М.: Наука, 1974. – 416 с.
5. Фомин Я. А. Распознавание образов: теория и применения. 2-е изд. – М.: ФАЗИС, 2012. – 429 с.
6. Прэтт, У. Цифровая обработка изображений. – М.: Мир, 1982. – 310 с.
7. Горда О.В., Пузько О.О. Исследование изображений признакообразующих элементов дефекта типа «трещина» // Scientific Journal "Science Rise" Vol. 1/(42). – 2018. – С. 24-29.
8. Горда О.В. Моделивання метрик в просторі цифрового зображення дефекту типу «тріщина» // Управління розвитком складних систем. – 2014. – Вип. 17. – С. 112-120.
9. Горда Е.В., Михайленко В.М. Онтология цифрового изображения дефекта типа «трещина» на объектах строительства // Управління розвитком складних систем, – 2017. – Вип. 30. – С. 142-145.
10. Горда О.В., Пузько О.О. Вплив формуючого тракту на представлення дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні // Управління розвитком складних систем. – 2013. – Вип. 13. – С. 113-118.

Статья поступила в редколлегию 06.11.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.М. Михайленко, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев.

**Горда Олена Володимирівна**

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

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

### ПЕРЕТВОРЕННЯ ЦИФРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ ДЕФЕКТУ ТИПУ "ТРИЩИНА"

**Анотація.** При розробці і дослідженні систем технічної діагностики стану об'єкта будівництва для неруйнівного контролю з метою виявлення різних дефектів (включно тріщини) застосовуються методи штучного інтелекту, зокрема методи кластерного аналізу цифрових зображень. З огляду на те, що сучасні web-камери відображають широкий діапазон кольорів, застосовується спрощення у відтворенні, тому можлива втрата інформації на етапі перетворень зображення. Отже обробка таких зображень вимагає значних ресурсів. У роботі визначаються та досліджуються

перетворення зображення, що містить дефект типу «тріщина» (ІЗОДТТ) для цифрових зображень об'єктів будівництва. Визначено можливість перетворень щодо цифрового зображення і збереження властивостей зображення при їх застосуванні. Робота виконана в рамках кластерного аналізу ІЗОДТТ і орієнтована на розробку методів побудови алгоритмів розпізнавання та ідентифікації тріщин на будівельних об'єктах. Для описаних перетворень проведено дослідження щодо їх спостережуваності на цифрових зображеннях, а також здатності спостережуваності інваріантів перетворень. Описана структура різноманіття ДТТ як двопараметричної півгрупи з одиницею.

**Ключові слова:** зображення; дефект; тріщина; ознака; спостереження; перетворення; інваріант; кластер; багатовид; півгрупа

**Gorda Elena**

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

#### TRANSFORMATION OF DIGITAL IMAGE DEFECTTYPE "CRACK"

**Abstract.** When developing and researching the systems of technical diagnostics of the state of a construction object, methods of artificial intelligence are used in the methods of nondestructive testing, in particular methods for cluster analysis of digital images in order to identify various defects, including cracks. Given that modern web cameras display a wide range of colors and simplified reproduction, it is possible to lose information at the stage of image transformation, processing of such images requires considerable resources. In this paper, the transformations of an image containing a "crack" type defect (IODTT) for digital images of construction objects are determined and studied. The feasibility of transformations relative to the digital image is determined and the image properties are preserved when applied. The work is carried out within the framework of the IZDTT cluster analysis and is focused on the development of methods for constructing algorithms for recognition and identification of cracks in construction sites. For the transformations described, studies were made on their observability on digital images, as well as on the ability of observability of transformation invariants. The structure of the DTT manifold as a two-parameter semigroup with identity is described.

**Keywords:** image; defect; crack; attribute; observability; transformation; invariant; cluster; manifold; semigroup

#### References

1. Teplin, D. (1980). *Mechanics of destruction. Destruction of structures.* [Text]. Moscow: Mir, 256.
2. Erdogan, F. (1975). *The theory of propagation of fractures.* [Text]. Moscow: Mir, 440.
3. Morozov, N.F. (1984). *Mathematical problems in the theory of cracks.* [Text]. Moscow : Nauka, 256.
4. Vapnik, V.N., Chervonenkis A. Ya. (1974). *Theory of Pattern Recognition.* [Text]. Moscow: Nauka, 416.
5. Fomin, Ya.A. (2012). *Pattern Recognition: Theory and Applications.* [Text]. Moscow: PHASIS, 429.
6. Pratt, U. (1982). *Digital image processing.* [Text]. Moscow: Mir, 310.
7. Gorda, O. Puz'ko, O. (2018). Investigation of images of flag-forming elements of a "crack" type defect. *Science Rise*, 1 / (42), 24-29.
8. Gorda, O. (2014). Modeling of the metrics in the spacious digital image defect type "crack". *Management of the development of complex systems*, 17, 112–120.
9. Gorda, E.V, Mikhaylenko, V.M., (2017). Ontology of the digital image of a "crack" type defect at construction sites. // *Management of the development of complex systems*, 30, 142–145.
10. Gorda O., Puz'ko O., (2013). Inflating the tract on the represented defect type "crack" on the digital image // *Management of the development of complex systems*, 13, 113–118.

#### Ссылка на публикацию

- APA Gorda, E. (2018). Transformation of digital image defecttype "crack". *Management of Development of Complex Systems*, 33, 139-143.
- ГОСТ Горда Е.В. Преобразования цифрового изображения дефекта типа "трещина" [Текст] / Е.В. Горда // *Управление развитием сложных систем.* – 2018. – № 33. – С. 139-143.