

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Проблема забезпечення максимально можливого строку служби, продовження термінів експлуатації в умовах реальних обмежень є однією з найактуальніших проблем для вчених та технічних спеціалістів у всьому світі. Наслідки виникнення відмов, несправностей або дефектів можуть призвести до техногенних катастроф із втратами людей, фатальними для оточуючого середовища та із значними матеріальними збитками.

Економічна ефективність за весь період експлуатації складних будівельних об'єктів, залежить від поточної надійності та показників їх довговічності. Об'єкти будівництва, як складні інженерні конструкції, повинні надійно безаварійно функціонувати починаючи з моменту їх створення та в значний період часу експлуатації, включаючи широкий спектр природних та техногенних впливів. Розповсюджена відомча система нагляду за станом технічних систем фактично фіксує або появу того чи іншого дефекту конструкції, який може привести до аварійної ситуації, або саму аварійну ситуацію, як факт, який відбувся. Досвід будівництва вимагає проведення контролю (моніторингу) будівельних об'єктів у реальному часі. З цією метою розроблюються системи моніторингу на період будівництва, а далі на період експлуатації створюється служба стеження за станом конструкцій та прилеглих територій. Отже відстеження технічного стану інженерних конструкцій передбачає два етапи: система контролю в період будівництва; система контролю на період експлуатації.

Основою досліджень та розробки методів моніторингу та оцінки технічного стану об'єктів будівництва є роботи присвячені теорії моделювання (С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецький, О.А. Самарський, Дж. Эндрюс, Р. Мак-Лоун, К. Шеннон та ін.), механіці деформованого твердого тіла та руйнування матеріалів (І.А. Биргер, В.Г. Зубчанінов, А.С. Кравчук, А.І. Лур'є, В.А. Ломакін, Н.Н. Малінін, В.В. Новожилов, В.Е. Вільдеман, Ю.В. Соколкін, Я.Б. Фрідман та ін.), а також методи розпізнання образів (Л.Т. Кузін, Ф.І. Перегудов, Ф.П. Тарасенко, Темніков Ф.Е., П. Харт, Дж. Ту, Р. Гонсалес, П. Уінстон, К. Фу, Я.З. Ципкін та ін.)

Проблема подовження ресурсу технічних систем з урахуванням критерію безпеки за рахунок застосування інформаційних технологій є комплексною і вимагає:

- перегляду існуючих методик і підходів, а також розробки якісно нових підходів виявлення несправностей та дефектів;
- застосування вибіркового підходу, так як кількість відмов і пошкоджень з часом зростає, що приводить до зростання витрат на ведення контролю;
- застосування системного підходу з врахуванням заходів та розв'язанням задач, які покращують стан системи;

- врахування людського фактору, підвищення рівня освіти та кваліфікації обслуговуючого персоналу, що забезпечує достовірність контролю і суттєво впливає на надійність системи в цілому.

Сьогодні особлива увага приділяється методам неруйнівного контролю (НК) сутність яких – аналіз динаміки зміни технічного стану (ТС) об'єктів будівництва (ОБ), його прогнозування, виявлення і класифікації дефектів без активного впливу на сам об'єкт. Найбільш поширеним способом попередження аварій ОБ є систематичне застосування методів неруйнівного контролю до яких відноситься оптичний метод, який відрізняється від інших доступністю та можливістю застосування у важкодоступних місцях і складних умовах оточуючого середовища, а також відносно невеликою вартістю.

Природа виникнення дефектів типу „тріщина” обумовлена значною кількістю як зовнішніх так і внутрішніх факторів, що породжує їх різноманіття, кожен дефект має свої особливості і вимагає індивідуального підходу. Розв'язання задачі визначення дефектів такого типу забезпечить прогрес у наукових дослідженнях, а також має важливе прикладне значення для ведення моніторингу технічного стану об'єктів різного призначення (зокрема будівельних) своєчасний правильний аналіз яких дозволить попереджати виникнення небажаних та аварійних ситуацій. Наявність невирішених проблем розвитку сучасних методів розпізнання та ідентифікації дефектів типу „тріщина” і нагальна проблема їх розв'язання зумовили *актуальність* наукових досліджень і розробок, яким присвячена дисертаційна робота.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась в рамках досліджень Київського національного університету будівництва і архітектури, а саме науково-дослідної роботи: „Теоретичні основи розрахунку раціональних сталевих конструкцій з елементів змінної жорсткості з урахуванням розвитку обмежених пластичних деформацій”, № держреєстрації 0111 U 002224.

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є розробка методів та моделей в рамках інформаційної технології моніторингу, діагностики та розпізнання дефектів типу „тріщина” будівельних об'єктів у процесі адаптивної фільтрації на основі цифрових зображень в оптичному діапазоні.

Для досягнення поставленої мети в роботі пропонується вирішення наступних задач:

- дослідження особливості візуалізації дефектів об'єктів будівництва на основі зображень в оптичному діапазоні;
- визначення класифікуючих ознак фільтрації цифрових зображень тріщин на об'єктах будівництва;
- проведення кольорової кластеризації регулярних зображень ОБ;
- визначення інформаційної моделі дефекту типу „тріщина” за цифровим

зображенням в оптичному діапазоні;

- визначення методу розпізнання та класифікації дефектів типу „тріщина” об’єктів будівництва на основі поточного аналізу їх зображень;
- побудова та дослідження формалізованого алгоритму адаптивної фільтрації для відшукування і класифікації зображень дефектів типу магістральної та корозійної тріщини;
- створення алгоритму локалізації об’єкту дослідження на решітчастих, фрактальних та орнаментальних 2-D структурах;
- розробка та дослідження інформаційної технології для адаптивної фільтрації, відшукування і класифікації зображення дефекту на ОБ.

Об’єктом дослідження є: інформаційна технологія адаптивної фільтрації, відшукування і класифікації зображень дефектів типу „тріщина” об’єктів будівництва.

Предметом дослідження є: моделі, методи та інструментальні засоби інформаційних технологій адаптивної фільтрації, виявлення та класифікації зображення дефекту типу „тріщина”, аналізу даних з використанням моделей, методів і засобів їх інтеграції.

Методи дослідження. В процесі досліджень використовувались методи проектування структур даних, теорія множин та графів, аналітична геометрія, топологічні методи, методи системного аналізу, методи статистичного аналізу, об’єктно-орієнтованого моделювання, математичного моделювання, структурного моделювання, імітаційного моделювання, еволюційний метод пошуку бази розширюваних систем, онтологічні методи дослідження предметної області.

Наукова новизна одержаних результатів, що виносяться на захист
Основний науковий результат роботи полягає в побудові інформаційної технології та відповідних моделей і методів адаптивної ідентифікації дефектів типу „тріщина” об’єктів будівництва на основі цифрових зображень в оптичному діапазоні.

Вперше розроблено:

- інформаційну технологію на теоретико-множинній ознаковій моделі основних дефектів типу „тріщина” об’єктів будівництва на багатовимірній моделі даних, що дозволяє виконувати ідентифікацію зазначених дефектів;
- метод адаптивної покрової ідентифікації на основі апарату функції присутності дефектів на ОБ в межах інформаційної технології, що дає можливість використання неповних даних;
- базові розширювані топологічні моделі цифрового зображення тріщин та їх об’єктно-орієнтована інтерпретація, як складові інформаційної технології, в рамках здійсненої класифікації задач;
- моделі, методи на основі інформаційної технології адаптивної фільтрації цифрових зображень об’єктів будівництва.

Удосконалено:

- математичну модель цифрового зображення дефектів типу „тріщина” ОБ за рахунок структурної ознакової оптимізації в напрямку підвищення степені адекватності для вирішення задачі ідентифікації дефекту на основі його зображення в рамках інформаційної технології;
- багатовимірну модель цифрового зображення дефектів типу „тріщина” будівельних об'єктів та методи їх ідентифікації в напрямку підвищення рівня агрегації інформації за рахунок синтезу інформаційного прототипу;
- комплекс експериментально-аналітичних моделей для виявлення динаміки тріщин з використанням методів регресійного аналізу та групового урахування аргументів, як складових інформаційної технології, придатних для розв'язання задач конструктивної оптимізації в напрямку інтеграції послідовності моделей, побудованих на основі локальних класифікаторів.

Дістало подальшого розвитку:

- концепція інформаційної системи моделювання і діагностики дефектів типу „тріщина” споруд та будівельних конструкцій, що дозволило розробити інформаційну технологію для вирішення задач ідентифікації дефектів за цифровими зображеннями;
- ознакова модель тріщини на ОБ, що дало можливість на її основі розробити проблемно-орієнтовану інформаційну технологію ідентифікації;
- застосування методу оцінки параметрів, на основі багатовимірної моделі даних, що дає можливість визначення оптимальних характеристик синтезу моделі тріщини на ОБ, як елементу інформаційної технології.

Достовірність результатів дослідження заснована на несуперечності висунених положень відомим і достовірно вивченим закономірностям, результатами практичного впровадження розробленого методу. Аналіз результатів та публікації у фахових виданнях, підтверджують достатню збіжність теоретичних та практичних результатів впровадження.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці інформаційної технології визначення дефектів типу „тріщина” об'єктів будівництва на цифрових зображеннях в оптичному діапазоні на базі розробленої автором ознакової моделі, методів та алгоритмів, із застосуванням спеціалізованих програмних засобів.

Практичне використання наукових результатів дозволило:

- створювати нові інформаційні технології адаптивної фільтрації, виявлення та класифікації зображень дефектів на ОБ;
- підвищити ефективність процесу адаптивної фільтрації виявлення та класифікації зображень дефектів типу „тріщина”;
- знизити ступінь ризику прийняття необ'єктивних рішень щодо визначення навантаження споруд;

- закласти сучасні методологічні основи підвищення ефективності інформаційних систем технічної діагностики через узагальнення результатів і наукових положень, отриманих автором.

Особистий внесок здобувача в роботах, опублікованих спільно, складається з розробки методів, моделей та процесів ідентифікації дефекту типу „тріщина” на цифрових зображеннях споруд та будівельних конструкцій. В роботі [1] автором виділена множина параметричних ознак дефекту на поверхнях об’єктів будівництва, що складають основу ознакової моделі дефекту. В роботі [2] детально розглянутий етап відокремлення основного зображення дефекту від сторонніх шумів та фону за рахунок застосування визначеної послідовності математичних фільтрів. В роботі [3] обґрунтована необхідність застосування адаптивної фільтрації дефекту типу „тріщина” на ОБ за фотознімками, визначені основні інформаційні компоненти та вимоги до адаптивного фільтру та проведений огляд методів його реалізації. В роботі [4] автором запропоновано метод визначення розташування дефекту типу «тріщина» на регулярних поверхнях об’єктів будівництва за їх візуальним зображенням, досліджена можливість застосування методу для решітчастих, фрактальних та орнаментальних 2-D структур. В роботі [5] досліджено вплив факторів різного типу та природи на формування зображення та подальший процес ідентифікації дефекту на поверхнях ОБ, проведена їх класифікація та структуризація. В роботі [6] проведено дослідження методів визначення магістральних тріщин на зображеннях об’єктів будівництва, здійснена класифікація топологій їх можливих розгалужень, описаний алгоритм топологічного замикання магістральної тріщини. В роботі [7] досліджується функції присутності дефекту типу «тріщина» на цифрових зображеннях об’єктів будівництва, здійснена класифікація топологій ланок тріщини за фігурою її представлення, визначені вимоги та особливості реалізація оцінки функції присутності.

Апробація результатів роботи. За результатами виконаних досліджень опубліковано 10 наукових праць, що відображають основні результати роботи, з них 7 наукових статей у фахових виданнях, затверджених переліком ВАК України, 3 – тези доповідей в матеріалах міжнародної науково-технічної конференції.

Результати роботи впроваджено в Науково-дослідному інституті будівельного виробництва (НДІБВ) Мінрегіонбуд України при розробці індивідуальних методів створення автоматизованих технологічних комплексів у відповідності з науково дослідною роботою № 194-11 «Проведення комплексного обстеження та оцінка технічного стану будівель та споруд ПАТ «Київенерго» та в навчальному процесі КНУБА.

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 10 наукових праць.

Структура і об'єм дисертації. Дисертаційна робота відповідає вимогам ВАК та складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, викладених на 163 сторінках друкованого тексту. Матеріали дисертації містять 3 таблиці та 77 рисунків. Список використаних літературних джерел із 160 найменувань розміщено на 12 сторінках, 9 додатків – на 30 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У вступі Обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено мету і завдання дослідження, його об'єкт та предмет, розкрито наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів.

У першому розділі проведено огляд сучасних методів діагностики об'єктів будівництва вимоги до них та їх класифікація, визначено місце та значення оптичного методу контролю, його переваги та недоліки. Проведено аналіз механіки процесу утворення та розвитку тріщин та їх класифікація. Визначені основні типи та компоненти дефекту, як вхідних даних інформаційної технології.

Формальну узагальнену модель процесу утворення тріщини можна представити як деякий функціонал від часу:

$$F(\{In\}, \{Ex\}, \{Ct\}, t) \rightarrow D,$$

де D – дефекти; $In(n_1, n_2, n_3, n_4, n_5)$ – множина внутрішніх факторів, відповідно дефекти виготовлення, транспортування, монтажу, експлуатації та матеріалів;

$Ex(f_1, f_2, f_3, f_4, f_5)$ – множина зовнішніх факторів, де: f_1 – статичні навантаження, f_2 – динамічні навантаження, f_3 – випадкові навантаження (вібрації, землетруси і таке ін.), f_4 – фактори впливу зовнішнього середовища (наприклад, порушення кислотно-лужного балансу, що призводять до корозійних процесів), f_5 – режими експлуатації;

Ct – сукупність конструктивних факторів; що включає характеристики конструкції (її нормативні дані, локалізацію області дослідження, геометричні характеристики). типи з'єднань, класи поверхонь.

Проведений аналіз основних чинників утворення дефекту типу „тріщина” до яких відносять механічний чинник та зміну властивостей матеріалу, яка обумовлена фізико-хімічними процесами, що протікають в системі матеріал-зовнішнє середовище за фактором часу. Визначені прояви дефекту на поверхнях ОБ, які можна спостерігати на цифрових зображеннях в оптичному діапазоні, а також визначені основні характеристики матеріалів та поверхонь, що впливають на процес аналізу зображень та виявлення дефекту.

Проведений огляд методик та математичних методів вирішення задачі розпізнання образів та існуючих програмних середовищ для їх реалізації. З точки зору представлення знань пропонують наступну класифікацію методів: екстенсіальні – базуються на операціях з об'єктами; інтенсіальні методи –

базуються на операціях з ознаками.

Найбільш поширеними є методики на основі статистичних характеристик, теорії рядів, нечітких множин та застосування нейронних мереж.

Розглянуто перелік задач, які необхідно розв'язати для кожного із зазначених підходів та існуючий математичний апарат для їх вирішення.

Виходячи із особливостей тріщини, як об'єкту розпізнання, та поверхонь, що визначають специфіку задачі ідентифікації дефектів на об'єктах будівництва обраний метод на основі класифікаційних ознак, який може бути формалізована наступним чином:

- вхідні дані:
 - M – множина об'єктів ω ;
 - $I(\omega) = (x_1(\omega), x_2(\omega), \dots, x_N(\omega))$ – опис об'єкту ω ;
 - $M = \bigcup_{i=0}^m \Omega_i$ – розбиття множини M на класи, що визначаються апріорною інформацією I_0 .
- постановка задачі
 - для кожного даного об'єкту ω обчислюється значення предикатів-ознак: $P_i = (\omega \in \Omega_i)$, $i = \overline{1, m}$;
 - для опису неможливості розпізнання об'єкту предикати заміщуються величинами $\alpha_i \in \{0(\omega \notin \Omega_i), 1(\omega \in \Omega_i), \Delta(\text{невідомо})\}$;
 - таким чином для об'єкту, що розглядається необхідно обчислити його інформаційний вектор $\alpha(\omega) = (\alpha_1(\omega), \dots, \alpha_m(\omega))$.
- віднесення об'єкту до певного класу.

Виконана постановка задач: дослідження інформаційних процесів і моделей розпізнавання дефектів типу "тріщина" споруд та будівельних конструкцій в оптичному діапазоні і на його основі побудова технології на базі адаптивного алгоритму фільтрації і розпізнавання дефектів типу "тріщина", включаючи ранній етап їх зародження, повніше їх виявлення і визначення фізичної природи у рамках неруйнівного контролю в системі комплексної технічної діагностики.

У **другому** розділі на основі проведеного аналізу виділені та формалізовані ідентифікаційні ознаки дефекту типу "тріщина" на поверхнях об'єктів будівництва, які можна спостерігати на цифрових зображеннях в оптичному діапазоні та будувати локальні моделі дефекту, що складають основу інформаційної технології.

Статична модель об'єкту ідентифікації "тріщина" на ОБ представляється, як: $O \Rightarrow (K, \Theta, \Phi, t)$, де K – опис імені-ідентифікатора об'єкту, Θ – опис параметрів об'єкту і Φ – опис методів і функцій об'єкту. Символ t вказує на те, що статичний опис об'єкту завжди відноситься до певного моменту часу і характеризує деякий його стан. Поведінка об'єкту, як зміна його станів в часі під

впливом множини X – зовнішніх і внутрішніх чинників, повністю визначається наступним описом: $\tilde{O} = \Phi(K, \Theta, X, t)$.

Ця складова об'єкту ідентифікації на прикладі функцій зміни станів визначається малістю та плавністю їх зміни на кожному етапі будівництва або в короткі проміжки часу експлуатації. Визначені вимоги до значення (сенсу) і (або) об'єму (змісту) терміну «тріщина». Аксиоматичне визначення тріщина повинно містити:

- опис властивостей, характеристик об'єктів, що виділяють тріщину з множини інших об'єктів, з метою формування відмінностей від інших об'єктів;
- визначення правил виділення його серед іншого;
- явне визначення родової ознаки, яка вказує на ту множину тріщин, з числа яких потрібно виділити предмет тріщина, що визначається, а видовою відмінністю має бути ознака або група ознак, властивих лише цьому поняттю і відсутніх у інших понять цього роду.

За формою аксіоматичне визначення тріщина повинно бути фундаментальним і будуватися із суджень (логічних виразів) як кон'юнктивна сукупність тверджень, що складається з базових тверджень або тих, що визначаються ними. Визначення поняття тріщина повинно покривати як найбільше різновидів тріщин, які зустрічаються на реальних об'єктах. Поняття тріщина повинно бути досить повно представлене:

- інтенціонально – з боку змісту, тобто сукупності істотних ознак в понятті;
- екстенціонально – з боку об'єму поняття, тобто множини об'єктів „тріщина”, до яких відноситься поняття.

Визначена специфіка ідентифікаційних ознак дефекту та особливості їх формування.: масштабна і морфологічна багаторівневність; синтаксична і реляційна інформація; ознаки; моделі. Проведена класифікація ідентифікаційних ознак за методами. Сукупність ознак повинна задовольняти наступним вимогам:

- 1) сукупність ознак дефектів зображень повинна повністю використовувати інформацію про дефекти стосовно задач розпізнавання і аналізу зображень;
- 2) сукупність ознак зображень повинна забезпечити достатнє виділення класів для класифікації максимально можливої кількості дефектів;
- 3) класифікація ознак зображень має бути несуперечливою, класи, виділені по одній основі, не повинні перетинатися.

На основі аналізу, поведеного у першому розділі виділені та формалізовані наступні множини ознак: десять параметричних (якісних) та одинадцять дескриптивних (що описують образ форми). Наприклад, однією з важливих параметричних ознак (ознака 8) є той факт, що тріщина представляє собою заглиблення, яке на знімку можна спостерігати за зміною градієнту яскравості. Якщо знімок дефекту розглянути як поле градієнтів, попередньо представивши

його за значеннями яскравості, то незалежно від вибору точки на знімку поза еліптичною локалізацією тріщини функція розподілу градієнта яскравості вздовж прямої, що проходить через вибрану точку і перетинає область локалізації дефекту, буде мати інваріантну форму двоступінчатої кривої (рис.1.).

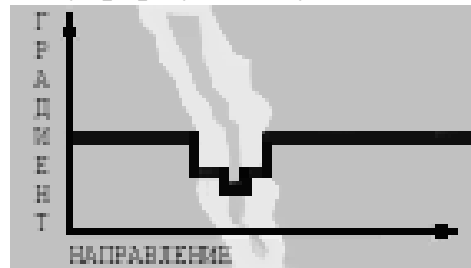


Рис. 1. Розподіл градієнту яскравості в околі дефекту «тріщина»

Дескриптивні ознаки застосовуються для вирішення двох важливих задач:

1. ідентифікації дефекту;
2. для зв'язування областей дослідження, у якості перехідної інформації.

Для визначення дескриптивних ознак введено поняття елементарного породжуючого дескриптору (ЕПД) – орієнтований відрізок прямої на площині, що виходить із фіксованої точки і має задану довжину (міру):

$$o_i = \{(x_i, y_i) - \text{початкова точка}, |\vec{o}_i| - \text{довжина}, \text{grad}(\vec{o}_i) - \text{напрямок}\}.$$

Вершиною дескриптору може бути початкова або кінцева точка ЕПД. Примітивним дескриптором (10 раніше описаних ознак) будемо називати зв'язну геометричну структуру на площині, що само не перетинається, яка утворюється послідовним об'єднанням ЕПД, причому існує і лише одна точка – вершина дескриптора, яка може бути початком двох ЕПД і не є кінцевою точкою іншого ЕПД, а будь-яка інша точка – є початком тільки одного ЕПД або не має продовження. Кожний дескриптор характеризується: постійним набором ланок; постійною кількістю кутів між ланками; послідовністю ланок та суміжних до них кутів. Кожному дескриптору відповідає група допустимих перетворень його фрагментів (ланцюгів ломаної, що презентує краї тріщини) (рис. 2.):

- повороти відносно суміжних вершин ломаної на певний кут (кути не повинні переходити у розгорнутий),
- метричні деформації ланцюгів (масштабування), що зберігають первинне відносне розташування вершин тріщини і вершин ланцюгів ламаної.

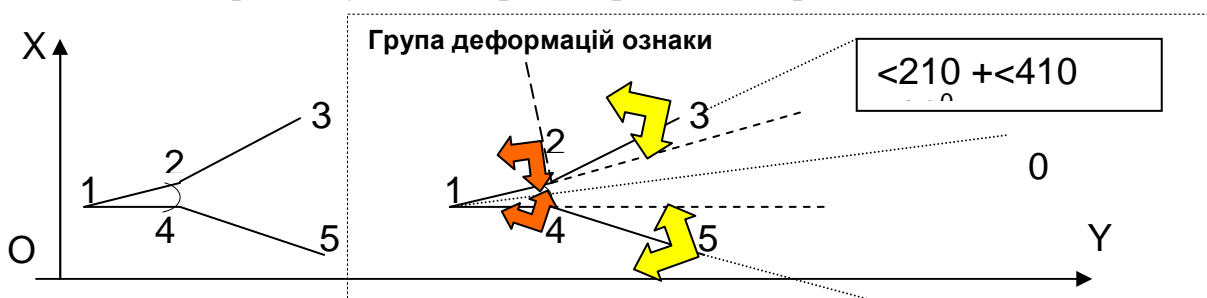


Рис. 2. Приклад дескриптивної ознаки і групи її внутрішніх деформацій

Для кожного примітивного дескриптора в цілому допустимою є вся група афінних перетворень (перенос, поворот, масштабування) Для сукупності дескрипторів, які породжені одним простим дескриптором справедливим є слідування за продовженням. Алгебраїчні операції та відношення для дескриптивних множин визначаються за допомогою введення операцій і відношень над дескрипторами. Тому у разі фіксованих для певного дослідження $x_1, \dots, x_n : \forall x_i \in A$, A – примітивний дескриптор, $\{x_i\}$ – впорядкована множина вершин, можна використовувати замість дескриптивної множини еквівалентне поняття "дескриптивний набір", тобто структуру, компонентами якої є ЕПД.

Ознакова модель дефекту представляється у вигляді послідовності локальних класифікаторів, які будуються шляхом селекції ідентифікуючих ознак за критеріями спостережуваності, вимірюваності, що забезпечує відкритість та гнучкість процесу розпізнання (табл.. 1).

Таблиця 1

Присутність параметричних ознак в залежності від типу тріщини

ТРІЩИНИ	ОЗНАКИ										
	№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
волосяні	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+
дрібні	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+
розвинені	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
великі	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
магістральні	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
фрагментарні	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+
2 точки росту	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
від краю	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
трансображення	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+
+масштабуємі	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+
-масштабуємі	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+

+ – існує ефективне застосування ознаки;

- – не існує ефективного застосування ознаки;

-+ – ознака може бути застосована.

Ознака 10 є загальною для всіх випадків

Третій розділ присвячений моделювання процесів розпізнання дефекту типу «тріщин» на цифровому зображенні, як невід'ємної частини інформаційної технології. Проведений аналіз процесу отримання зображення в оптичному діапазоні, джерел та типів його спотворення, так як можливість розпізнання дефектів за зображенням залежить від інформації яка на ньому може бути представлена Інформативність та якість зображення об'єкту моніторингу значною мірою залежить від характеристик джерела світла, оточуючого середовища та його фізичних властивостей, точки зйомки (ракурсу) та характеристик поверхні

самого об'єкту. Сукупність перерахованих факторів спричиняє появу спотворень зображення, які можуть мати: незворотній характер; підлягати корекції за допомогою обернених перетворень. Спотворення, які впливають на якість обробки можна поділити на наступні класи: спотворення колірному простору; спотворення геометричних розмірів; спотворення вигляду об'єктів (топології).

Виходячи з особливостей процесу: об'єкт моніторингу - процес формування зображення - зображення об'єкту моніторингу, досліджена технічна спроможність спостереження дефекту типу „тріщина” на поверхнях ОБ, зображення повинно мати наступні характеристики:

- 1) точка має бути представлена як точка;
- 2) площа, перпендикулярна оптичній осі, має бути представлена як площа;
- 3) кути, утворені відрізками, повинні зберігати свою міру;
- 4) зображення повинно мати таку ж форму, як сам об'єкт;
- 5) об'єктив повинен показувати істинний колір об'єкту.

Придатність зображення для процесу обробки та вирішення задачі розпізнання, визначається на основі оцінок його якості. Можливі три способи оцінки:

- 1) чисто геометрична інтерпретація, на базі розподілів слідів променів навколо точки зображення для параксиальних променів;
- 2) розрахунки можна виконати так, що з'являться обриси хвильового фронту, які визначають у довжинах хвиль відстань між отриманим фронтом хвилі в просторі зображень і необхідним, який звичайно буває плоским або сферичним;
- 3) можна розрахувати розподіл освітленості в зображені точки, що світиться.

Для врахування негативних факторів завжди зберігається необхідність експериментальних оцінок якості зображення, які можуть бути виконані, наприклад, наступними способами: методом Гартмана і його модифікацією; інтерферометром, який дозволяє експериментально одержати топограму хвильового фронту системи й порівняти її з розрахунковими результатами; порівнянням аналізу розподілу освітленості зображення точки, отриманого досліджуваною системою з розрахунковими даними.

Також визначені оцінки та критерії якісних показників цифрових зображень, де основними є: яскравість, контрастність, рівень адаптації, різкість та побудована ієрархія оцінок якості у вигляді дерева.

На основі аналізу процесу формування зображення та оцінки його якості розроблений алгоритм процесу розпізнання (рис. 3), а також проведено дослідження функції присутності дефекту на ньому.

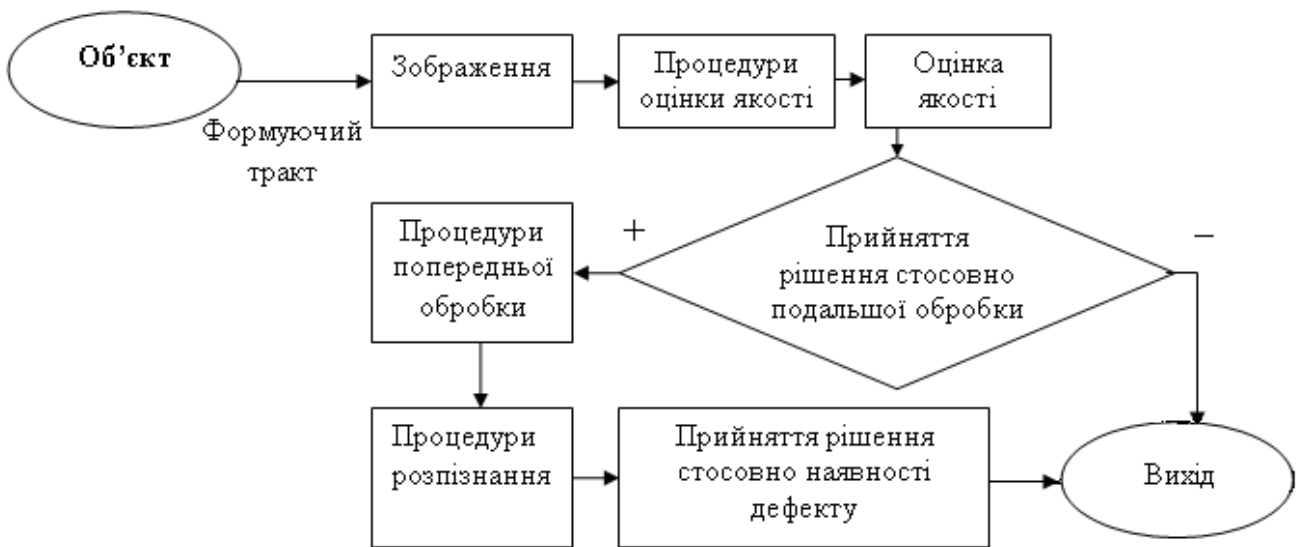


Рис. 3. Схема послідовності застосування процедур обробки зображення

Значення функція присутності отримуються в результаті перетворення величин що характеризують зображення, а саме, спочатку визначаються області, для яких функція присутності дорівнює "0", далі визначається власне величина функції присутності. Актуальність дослідження функція присутності визначається її важливістю для завдань виявлення і розпізнавання дефектів типу "тріщина" для будівельних об'єктів. Фігурі, що представляє тріщину може відповідати певна послідовність об'єднаних і впорядкованих фігур – ланок тріщини. Таким чином, основою дослідження функції присутності тріщини є дослідження функції присутності її ланки, що виконується в два етапи:

1. визначення фігури ланки тріщини;
2. специфікація виділеної ланки за її фігурою.

На основі аналізу скелету фігури дефекту типу "тріщина" складена таблиця специфікацій ланки тріщини за фігурою її представлення.

Для перевірки параметричних ознак розроблений детальний покроковий алгоритм їх реалізації, а також загальна процедура фільтрація зображення дефекту типу «тріщина», яка представлена засобами структурного аналізу у вигляді ієрархічних схем.

Четвертий розділ присвячений розробці інформаційної технології. Обґрунтовано використання прототипу в задачі розпізнавання дефекту типу «тріщина» на об'єктах будівництва. Під прототипом матимемо на увазі шаблон розпізнавання, що породжується для кожного зображення, дозволяє створювати нові прототипи-еталони шляхом клонування вже існуючих, не залежний від способу створення і реалізації що входять в нього прототипів-еталонів дефектів і визначальний клас породжуваного об'єкту в момент створення копії об'єкту при цьому можуть додавати деякі індивідуальні властивості відмінні від прототипу.

Прототип як модель частоти ознак, відбиває моду або ознаки, що найчастіше зустрічаються, властиві деякому набору екземплярів, відповідно,

прототип засвоюється через фіксацію елементів, що повторюються, властивих об'єкту, або ситуації. Прототипи базуються на ознаках, що часто зустрічаються, лише на початковій стадії класифікації і виявлення дефекту типу тріщина. Прототип, як модель центральної тенденції є деяким абстрактно середнім усіх екземплярів, що зберігається в пам'яті і відбиває центральну тенденцію категорії.

Визначена структура та джерела формування даних прототипу. А також мінімальний набір інформації для поставленої задачі:

- умови формування зображення (exif-файл);
- масштаб: ширина і висота пікселя (може обчислюватись);
- колір поверхні (діапазон);
- об'єкт моніторингу (призначення);
- тип середовища;
- тип матеріалу та його специфікація (бетон — (ізотропне, анізотропне) — розмір зерна; цегла – розміри, тип кладки);
- навантаження – прогноз типу і розташування тріщини для визначення точки зйомки та координат в процесі аналізу зображення.

Розроблений метод виявлення магістральної тріщини на зображення ОБ. Після локалізації аномалій на зображенні за рахунок колірної неперервності, виділяється прозорий фон з розподіленими колірними областями-кластерами. Далі виконується ранжування всіх кластерів за критерієм зменшення функції присутності, яку в даному випадку можна звести до функції сумарної подовженості об'єкту, де під подовженістю мається на увазі мінімальна кількість апертур, необхідних для покриття його зображення. Оскільки розмір об'єктів скінченний і визначений матрицею дискретного представлення знімку, то для усіх компонент зв'язності і їх апертур існує мінімальна апертура, як одиниця кратності їх виміру, що виражає усі довжини компонентів і забезпечує можливість за скінченну кількість кроків впорядкувати за спаданням всі величини або компоненти зв'язності зображення. Досліджено всі можливі топології представлення дефекту в межах апертури і на їх основі визначена послідовність кроків знаходження магістральної тріщини і побудови її скелету.

Розширення застосування запропонованої інформаційної технології обумовлено розробкою алгоритмів визначення дефекту на поверхнях, що мають решітчасту регулярну, фрактальну або орнаментальну 2-D структуру. Пара векторів \overline{OX} та \overline{OY} задають орієнтацію решітчастої структури $E: Or(E) = (\overline{OX}; \overline{OY})$. Дві структури E та V однаково орієнтовані, якщо: $Or(E) = Or(V)$ або, що означає $\{\overline{OX}_E \uparrow \downarrow \overline{OX}_V; \overline{OY}_E \uparrow \downarrow \overline{OY}_V\}$. Для визначення $Or(E)$ існують два підходи (рис.4):

1. метод порівняння кутів;
2. Проекційний метод.

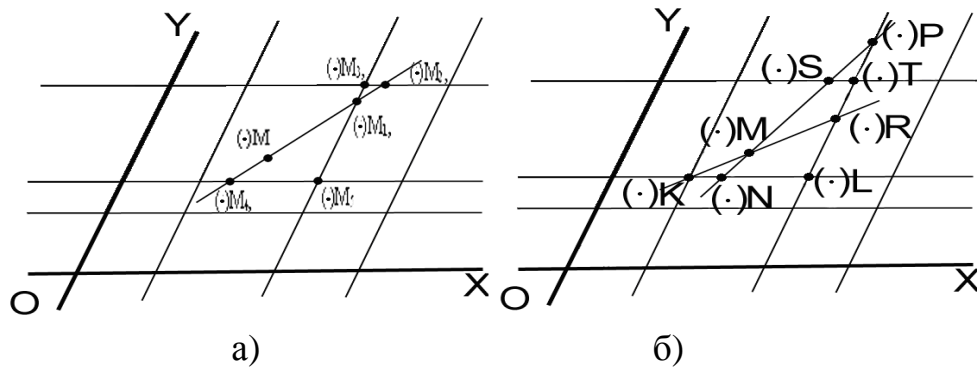


Рис. 4. Ілюстрація методів визначення решітчастої структури: а) – метод порівняння кутів; б) – проекційний метод

Досліджена технологія отримання інформації. Актуальність цієї задачі визначається тим, що при наявності ефективних математичних адаптивних фільтрів для виявлення дефектів типу «тріщина», можна проводити моніторинг для широкого класу об'єктів за наявності технології отримання інформації (ТОІ) щодо особливостей самого об'єкта, його матеріалу та поверхні, різних середовищ та режимів експлуатації, параметрів формуючого тракту (рис. 5.).

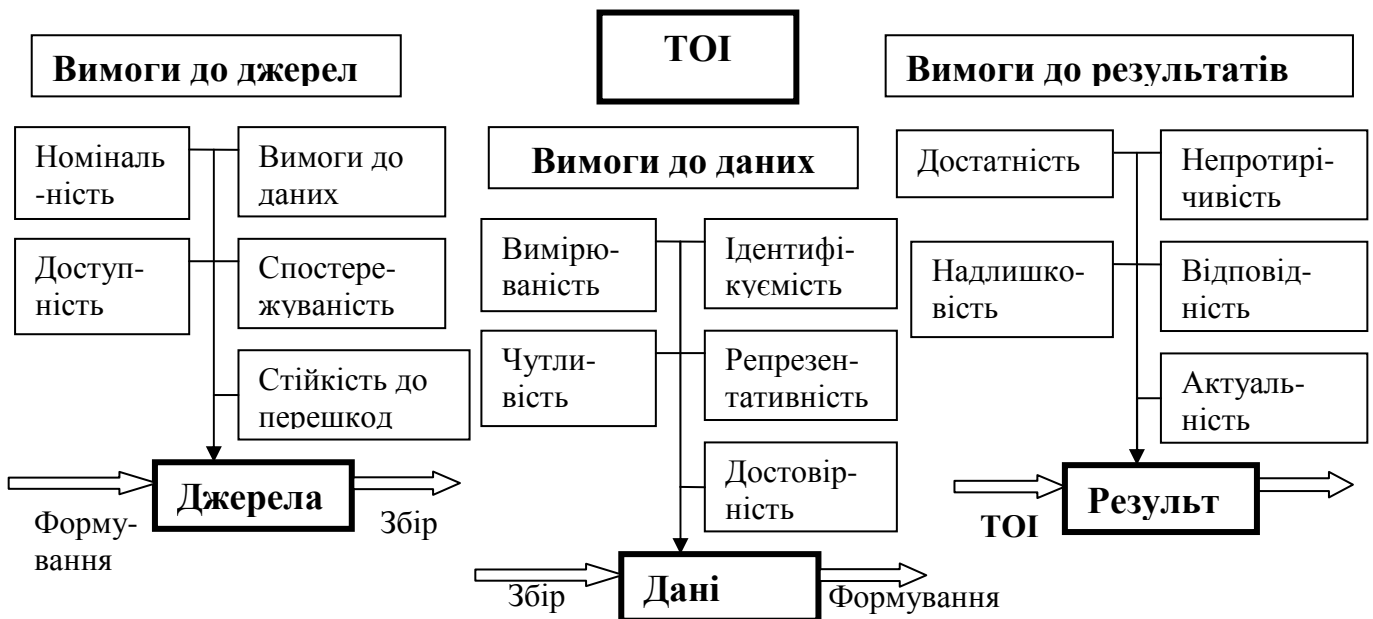


Рис. 5. Вимоги до компонентів технології отримання інформації (ТОІ)

Розроблена інформаційна технологія обробки зображення. Визначені складові компоненти цієї технології та послідовність кроків виконання основних етапів, наведених на рис. 6. Вхідні дані представляють собою складні структури де: джерела – цифрова матриця (або матриці) зображення; exif-файл (файл інформації про формуючий тракт), а також конструкторська, експлуатаційна та виробнича документація; дані – палітра кольорів, розподіл кольорів, дискретність, об'єм зображення, перешкоди; ознаки – ознаки якості зображення, ідентифікаційні ознаки (параметричні, дескриптивні); критерії – порогові

значення параметрів; фільтри – умови застосування, поля; процедури – впорядковані послідовності фільтрів.

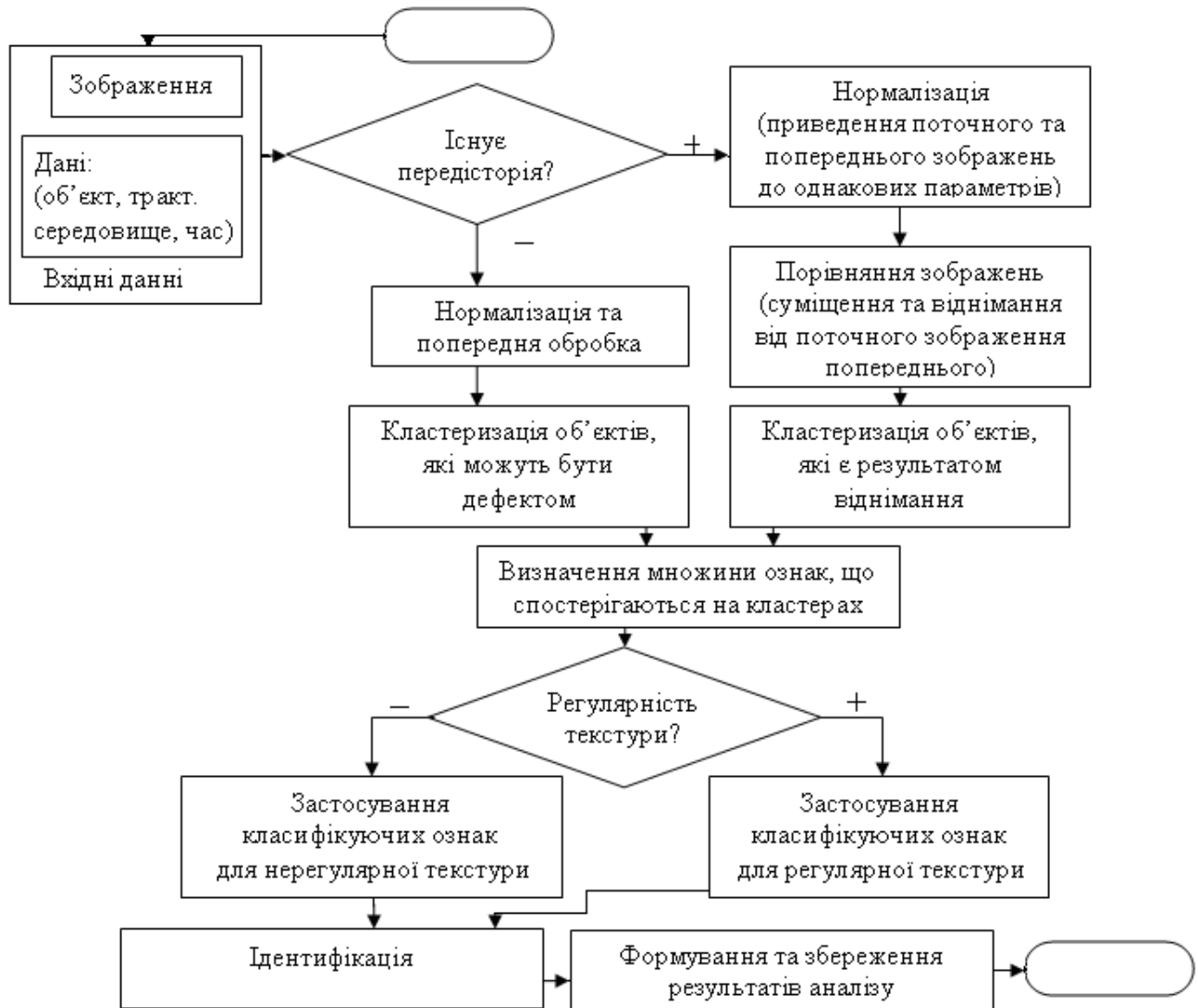


Рис. 6. Технологія обробки зображення

ВИСНОВКИ

1. З метод побудови інформаційної технології проведено аналіз і визначення основних особливостей теоретичного и експериментального визначення дефектів типу «тріщина» з точки зору процесу фільтрації зображення у видимому спектрі фотокамери основних типів дефектів структури у будівельних конструкціях та обладнанні.

2. Проведено аналіз і визначено: данні, структури сукупності даних, що визначають характеристики вимірювань, сфери застосування та накопичуються у процесі експлуатації будівельного устаткування й споруджень в умовах спадкоємності їх розробок як комплексів споруджень або комплексів технічних засобів, що дозволяє створити алгоритм синтезу й функціонування бази знань по визначенню дефектів типу «тріщина» для заданого класу об'єктів що складає основу функціонування інформаційної технології.

3. Досліджено і визначено алгоритм адаптивної фільтрації, включаючи алгоритми підвищення якості аналізованих зображень, і розпізнавання дефектів типу "тріщина" в оптичному діапазоні для дефектів типу "тріщина" з точки зору процесу фільтрації зображення у видимому спектрі web-камери основних типів дефектів структури у будівельних конструкціях, будівельних машин та обладнанні.

4. Проведено тестову апробацію розробленого алгоритм адаптивної фільтрації і розпізнавання дефектів типу "тріщина" в оптичному діапазоні з точки зору процесу фільтрації зображення у видимому спектрі web-камери основних типів дефектів структури у будівельних конструкціях, будівельних машин та обладнанні, яка підтвердила достовірність і перспективність напрямку проведених досліджень та запропонованої інформаційної технології.

5. Описана реалізація інформаційної технології на основі програмно реалізуємого, узгодженого, композитного, трансверсального фільтру та побудований алгоритм адаптивної фільтрації зображення дефекту типу «тріщина», визначений оптимальний набір фільтрів та процедур, що реалізують інформаційну технологію.

6. Досліджені джерела формування прототипу и обґрунтована необхідність побудови нових інформаційних структур на базі визначених джерел інформації в рамках інформаційної технології, досліджена технологія отримання інформації для розпізнання зображень дефектів типа «тріщина» структури середовища об'єктів будівництва, яка забезпечує можливість проводити їх моніторинг для широкого класу зображень.

7. Побудований, описаний та досліджений алгоритм визначення магістральних тріщин на зображення об'єктів будівництва в рамках інформаційної технології.

8. Побудований, описаний та досліджений алгоритм локалізації дефекту типу «тріщина» на решітчастих, фрактальних та орнаментальних 2-d структурах в рамках інформаційної технології.

Дослідивши інформаційні процеси, моделі, проблеми та задачі розпізнання дефектів типу «тріщина» на ОБ в оптичному діапазоні і врахувавши досягнення та існуючі методи теорії розпізнання образів на цифрових зображеннях, можна стверджувати: побудована технологія на базі адаптивного алгоритму фільтрації і розпізнавання дефектів типу "тріщина", включаючи ранній етап їх зародження у рамках неруйнівного контролю в системі комплексної технічної діагностики.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових виданнях, які входять до переліку,

затвердженому ВАК України:

1. Горда О.В. Фільтрація зображень дефекту типу «тріщина» в оптичному діапазоні web-камер. //—Київ. Техніка будівництва №21, 2009 р., с.134-138.

2. Горда О.В. Визначення дефекту типу «тріщина» в оптичному діапазоні. //–Київ. КНУБА Гірничі. будівельні, дорожні та меліоративні машини №74, 2009 р., с.89-93.
3. Михайленко В. М., Горда О.В. Технологія адаптивної фільтрації зображення дефекту типу «тріщина». //–Київ. Управління розвитком складних систем – Вип. 1, 2010 р., с. 65-68.
4. Горда О.В. Локалізація дефекту типу «тріщина» на решітчастих, фрактальних та орнаментальних 2-d структурах. //–Київ. Управління розвитком складних систем – Вип. 3, 2010 р., с. 75-80.
5. Горда О.В. Особенности визуализации дефектов строительных машин, оборудования и сооружений на основе изображений оптического диапазона. //–Київ. Теорія і практика будівництва №7, 2011 р., с. 22-24.
6. Горда О. В. Визначення магістральної тріщини на web-зображеннях об'єктів будівництва. //–Київ. Управління розвитком складних систем –Вип. 9, 2011 р., с. 92-96.
7. Горда О. В. Дослідження функції присутності дефекту типу «тріщина»на цифрових зображеннях об'єктів будівництва. //–Київ. Управління розвитком складних систем –Вип. 10, 2011 р., – с.112-114.

У роботах, опублікованих у співавторстві, автору належать: [3] – визначені основні інформаційні компоненти та вимоги до адаптивного фільтру.

Друковані праці наукових конференцій

1. Горда О. В. Локалізація дефекту типу «тріщина» на 2-D структурах /Горда О. В. // Матеріали XVI Міжнар. наук.-практ. конф. «Інформаційні технології в економіці, менеджменті і бізнесі. Проблеми науки, практики і освіти» : тези доп. / Європейський університет. – К., 25 листопада 2010 р., с. 133–134.
2. Горда Е. В. Особенности визуализации дефектов строительных машин, оборудования и сооружений на основе изображений оптического диапазона/ Горда О. В. // Матеріали XV Міжнар. наук.-практ. конф. «Інформаційні технології в економіці, менеджменті і бізнесі. Проблеми науки, практики і освіти» : тези доп. / Європейський університет. – К.,25-26 лютого 2010 р., с. 31–33.
3. Горда О. В, Тимощук А. В. Кольорова кластеризація регулярних зображень об'єктів будівництва. // Горда О. В. //Міжнародна науково-практична конференція «Наукові дослідження – теорія та експеримент» – Полтава, 2010 р., с. 120–122.

АНОТАЦІЯ

Горда О. В. Методи та моделі розпізнання дефекту типу «тріщина» на цифрових зображеннях в оптичному діапазоні. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – Інформаційні технології. – Київський національний університет будівництва і архітектури. – Київ, 2012.

Дисертація присвячена вирішенню задачі виявлення дефекту типу «тріщина» на цифрових зображеннях в оптичному діапазоні за рахунок застосування ознакової моделі дефекту та математичних фільтрів, як складових інформаційної технології.

Проведено аналіз проблемно-орієнтованих моделей і методів моніторингу технічного стану споруд та будівельних конструкцій на основі оптичного методу неруйнівного контролю. Автором досліджені особливості формування цифрових зображень об'єктів будівництва та представлення на них дефектів типу на основі яких визначені вимоги до ідентифікаційних ознак та їх сукупності. Сформульовані та формалізовані сукупності параметричних та дескриптивних ознак, які спостерігаються на цифрових зображеннях і покладені в основу ознакової моделі дефекту типу «тріщина», що є основою інформаційної технології.

Розроблена ефективна система процедур, що дозволяє на основі обмеженої інформації виконувати перевірку ідентифікаційних ознак та вести спрямований пошук дефекту на поверхнях споруд та будівельних конструкцій. Запропонована адаптивна інформаційна технологія виявлення дефекту типу «тріщина» на основі прототипу, в рамках якої розроблені алгоритми виявлення магістральної тріщини на поверхнях з однорідною та регулярною текстурами. В основу інформаційної технології покладена функція присутності дефекту з врахуванням загальних характеристик якості зображення.

Представлені в роботі моделі, методи, та інформаційна технологія процесу розпізнання впроваджені в Науково-дослідному інституті будівельного виробництва (НДІБВ) Мінрегіонбуду України та в навчальному процесі КНУБА.

Ключові слова: модель, дефект типу «тріщина», цифрове зображення, ідентифікація, формалізація, автоматизоване управління, математичні фільтри, інформаційна технологія.

АННОТАЦИЯ

Горда Е. В. Методы и модели распознавания дефекта типа «трещина» на цифровых изображениях в оптическом диапазоне. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Информационные технологии. – Киевский национальный университет строительства и архитектуры. – Киев, 2012.

Диссертация посвящена решению задачи выявления дефекта типа "трещина" на цифровых изображениях в оптическом диапазоне за счет

применения признаковой модели дефекта и математических фильтров как составных частей информационной технологии.

Проведен анализ проблемно-ориентированных моделей и методов мониторинга технического состояния сооружений и строительных конструкций на основе оптического метода неразрушающего контроля. Автором исследованные особенности формирования цифровых изображений объектов строительства и представления на них дефектов типа "трещина", на основе которых определены требования к идентификационным признакам и их совокупности. Сформулированы и формализованы совокупности параметрических и дескриптивных признаков, которые наблюдаются на цифровых изображениях и положены в основу признаковой модели дефекта типа "трещина", что составляет основу информационной технологии.

Разработанная эффективная система процедур на базе существующих фильтров, методов обработки изображений и их цифровых моделей, которая позволяет на основе ограниченной информации выполнять проверку идентификационных признаков и вести направленный поиск дефекта на поверхностях сооружений и строительных конструкций. При этом учитываются признаковые модели дефекта в виде последовательности локальных классификаторов. Для осуществления такой процедуры определена операция селекции идентифицирующих признаков по критериям наблюдаемости и измеримости идентифицирующих признаков, что обуславливает открытость и гибкость предложенной информационной технологии

Предложена адаптивная информационная технология обнаружения дефекта типа "трещина" на базе прототипа, в основе которой лежит введенная и исследованная функция присутствия дефекта на цифровом изображении, которая с учетом общих оценок качества изображения позволяет реализовать механизм адаптивной фильтрации дефекта. Определены источники формирования информационного прототипа и минимальный набор начальной информации.

Расширение области применимости предложенной информационной технологии обусловлено новыми алгоритмами реализации процедуры нахождения магистральной трещины, которая учитывает текстуру поверхности объекта мониторинга: однородную; решетчатую (регулярную, фрактальную или орнаментальную) 2-D структуру. Детально исследована топология присутствия дефекта в рамках апертуры изображения с целью определения структуры трещины.

Для решения задачи выявления дефекта типа «трещина» на поверхностях объектов строительства в рамках предложенной информационной технологии построено иерархическое дерево признаков и последовательность применения процедур с учетом набора исходной информации.

Представленные в работе модели, методы и технологии имитационного

моделирования ГСРП получили внедрение в научно-исследовательском институте строительного производства (НИИСП) Минрегионстроя Украины и в учебном процессе КНУСА.

Ключевые слова: модель, дефект типа «трещина», цифровое изображение, идентификация, формализация, автоматизированное управление, математические фильтры, информационная технология.

SUMMARY

Gorda E. V. Methods and models of recognition of defect type "crack" on digital image in an optical range. – Manuscript.

The thesis for a Candidate's degree in engineering science in speciality 05.13.06 – Information technologies. – Kyiv National University of Construction and Architecture. – Kyiv, 2012.

Dissertation is sanctified to the decision of task of exposure of the defect as a "crack" on digital image in an optical range due to application model of defect and mathematical filters, as information technology.

The analysis of the problem-oriented models and methods of monitoring of the technical state of building and building constructions is conducted on the basis of optical method of non-destructive control. By an author investigational features of digital image of objects of building and presentation on them of defects generation as on the basis of that certain requirements to the identification signs and their totality. Set forth and the formalized totalities of self-reactance and descriptive signs, that is observed on digital representations and fixed in basis of sign model of defect as a "crack".

Worked out effective system of procedures, that allows on the basis of a limit information to execute verification of identification signs and conduct the directed search of defect on the surfaces of building and building constructions. Adaptive information technology of exposure of defect is offered as a "crack" on the basis of prototype, within the framework of that the worked out algorithms of exposure of main crack on surfaces with homogeneous and regular textures. In basis of information technology the fixed function of presence of defect is taking into account general descriptions of quality of image.

The models, methods, and information technology of process of recognition technologies have been implemented in scientific research institute of construction operations (NIISP Minregionstroy) of ministry of regional construction of Ukraine and in education process in KNUCA.

Keywords: model, defect type "crack", digital representation, authentication, formalization, automated management, mathematical filters, information technology.